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

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine

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

№ 5 (65), 2023 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» **(ФГБНУ ВНИИТиН)**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

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

БАЛАБАНОВ Виктор Иванович – заведующий кафедрой «Организации и технологии гидромелиоративных и строительных работ» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 5 (65), 2023 г.
Основанв 2012 г. It is based in 2012.
Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

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

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АНАШКИН Александр Витальевич – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук
ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович – заведующий кафедрой «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор
ДОРОВСКИХ Владимир Иванович – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук, доцент
ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук
НАГОРНОВ Станислав Александрович – главный научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
ПЕТРАШЕВ Александр Иванович – заведующий лабораторией хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук
РЫКОВ Виктор Борисович – главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства структурного подразделения «СКНИИМЭСХ» ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», доктор технических наук
ТИШАНИНОВ Николай Петрович – главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
УЛЮКИНА Елена Анатольевна - профессор кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, доцент
ХАКИМОВ Рамиль Тагирович – заведующий кафедрой «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, доцент
ХОХЛОВ Алексей Леонидович – заведующий кафедрой «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», доктор технических наук, профессор
ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий программист ФГБНУ ВНИИТиН
ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
ЩЕРБАКОВ Сергей Юрьевич – заведующий кафедрой «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», кандидат технических наук, доцент

Редакция

Журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
Главный редактор: Машков А.Н.; заместитель главного редактора: Корнев А.Ю.
№ 5 (65). Дата выхода в свет 31.10.2023. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс: 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Периодическое печатное издание, журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

Башкирев А.П., Семыкин В.А., Шершнев Н.С.
МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРЕБНЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ 5
Шершнев Н.С.
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ.....11

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

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.
ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА С РЕЖИМАМИ РАБОТЫ И НАСТРОЕЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.....17
Доровских Д.В., Лавренченко А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....26
Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Меркелова Т.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ГЕЛЕВОГО ТИПА 36
Киров Ю.А., Копытин В.Ю., Петушков А.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОРЕАКТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА.....46
Вялых В.А., Бурмистров А.Н., Гулевский В.А.
К РАЗРАБОТКЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ К СОВРЕМЕННОМУ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЮ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ ДЛЯ ИХ ОЧИСТКИ ОТ ПЫЛИ И ПРИМЕСИ 55
Никитин Д.В., Галкин П.А., Родионов Ю.В., Абрамов М.С., Майстренко Н.В., Гливенкова О.А.
РАСЧЁТ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА.....64
Сутягин С.А., Агеев П.С., Карпенко Г.В., Павлущин А.А., Курдюмов В.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ С ИНФРАКРАСНЫМ НАГРЕВОМ ЗЕРНА. 78

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАШИН, АГРЕГАТОВ, РАБОЧИХ ОРГАНОВ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Тишанинов К.Н.
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ СИСТЕМ 86

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

Кошелев А.В., Остриков В.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА БЕЗ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИИ ПРОМЫВКИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА..... ..96
Чернышева А.В., Колобков Б.И., Середа В.А., Корнев А.Ю., Ликсутина А.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДВС..... 104
Курьято Н.А., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Брыксина В.А.
ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА СТАЛИ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ БИТУМНОГО ПРАЙМЕРА..... 112
Рожков Д.М., Ильин П.И., Шуханов С.Н.
ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ГОЛОВНОЙ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПО РАЗЛИЧНЫМ СЦЕНАРИЯМ119

CONTENTS

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

Bashkirev A., Semykin V., Shershnev N.
MODERNIZATION OF THE COMB-FORMING MACHINE FOR POTATO CULTIVATION 5
Shershnev N.
JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE RIDGE AT POTATO CULTIVATION 11

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

Tishaninov N., Anashkin A.
RELATIONSHIP OF THE QUALITY OF TRIER GRAIN CLEANING WITH OPERATING MODES AND ADJUSTING PARAMETERS 17
Dorovskikh D., Lavrenchenko A.
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ULTRASONIC CLEANING ON THE PERFORMANCE OF ELECTROMAGNETIC INJECTORS OF GASOLINE ENGINES 26
Didmanidze O., Fedotkin R., Kryuchkov V., Merkelova T.
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF GEL-TYPE TRACTION BATTERIES 36
Kirov Y., Kopytin V., Petushkov A.
RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A BIOREACTOR FOR PROCESSING ANIMAL BY-PRODUCTS 46
Vyalykh V., Burmistrov A., Gulevsky V.
TO DEVELOPMENT OF ADDITIONAL WORKING TOOLS TO MODERN PICKLER OF GRAIN SEEDS FOR THEIR CLEANING FROM DUST AND IMPURITY 55
Nikitin D., Galkin P., Rodionov Y., Abramov M., Maistrenko N., Glivenkova O.
CALCULATION OF COMBINED DESIGN OF LIQUID RING VACUUM PUMP 64
Sutyagin S., Ageev P., Karpenko G., Pavluschin A., Kurdyumov V.
STUDY OF AN INSTALLATION WITH INFRARED HEATING OF GRAIN.....78

SCIENTIFIC BASICS OF DESIGN AND CREATION OF NEW MACHINES, UNITS, WORKING BODIES, ACTUATORS

Tishaninov K.
DESIGNS OF PNEUMATIC SEPARATION SYSTEMS ANALYSIS 86

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

Koshelev A., Ostrikov V., Zabrodskaya A., Vyazinkin V.
RESULTS OF STUDIES TO ASSESS CHANGES IN THE PROPERTIES OF MOTOR OIL WITHOUT AND WITH THE USE OF FLUSHING THE TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM 96
Chernysheva A., Kolobkov B., Sereda V., Kornev A., Liksutina A.
STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ALTERNATIVE RAW MATERIAL SOURCES AS ENERGY CARRIERS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES..... 104
Kur`yato N., Knyazeva L., Dorokhov A., Bryksina V.
ANTI-CORROSION PROTECTION OF STEEL WITH COMPOUNDS BASED ON BITUMEN PRIMER 112
Rozhkov D., Ilyin P., Shukhanov S.
ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF IMPLEMENTATION AT THE MAIN OIL PUMPING STATION OF EMERGENCIES OCCURING IN VARIOUS SCENARIOS..... 119

Тип статьи: научная
УДК 635.21:633.491:631.559
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-5-10

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРЕБНЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ

Анатолий Петрович Башкирев [1]***, Владимир Анатольевич Семыкин*** [2]***,***
Николай Сергеевич Шершнев [3]
[1,2,3] *Курский государственный аграрный университет им.И.И.Иванова, г. Курск, Россия*
[1]tmv46@mail.ru, [2]zaharkovo@rambler.ru, [3]shershnevnikola@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Анатолий Петрович Башкирев, tmv46@mail.ru
Corresponding author: Anatoly Bashkirev, tmv46@mail.ru

Реферат. *Проверены и обоснованы условия для полива картофеля при его возделывании на гребнях. Проведена модернизация культиватора гребнеобразователя КГ-2,8 для формирования гребня заданных параметров. К культиватору- гребнеобразователю дополнительо установили на каждый рядок канавкообразователь, для формирования канавки на верхней части гребня трапецеидальной формы, способной эффективно задерживать воду при поливе или дожде и смачивать весь объем гребня. Канавкобразователь имеет трапецеидальный ролик,который изготовлен с возможностью снятия и установки его на корпусе гребнеобразователя по оси рядка посаженного картофеля. Установлено, что при традиционной форме гребня при поливе картофеля при температуре воздуха более 30^{0}С происходит интенсивное высыхание почвы из-за того, что значительная часть воды просто стекает в междурядье и не успевает полностью его промочить. А после того, как начинается ее сток по междурядью полив прекрощают. Это высыхание приводит к тому, что влажность почвы после полива нормой 250м^3/га в зоне нахождения корневой системы и клубней картофеля снижается за 4-5 дней до предельной влажности 20%, при которой прекращается прирост клубней. Установлено, что применение канавкообразователя совместно с гребнеобразователем позволяет создать условия накопления воды в канавке на гребне и последующей ее фильтрации внутрь, исключить стекание воды в междурядье и создать условия исключения сток воды. Интенсивное смачивание всего объема почвы в гребне позволяет увеличить время его высыхания до 8 дней, что значительно сократит затраты.*

Ключевые слова: *гребень, борозда, гребневая технология, картофель, сечение гребня, полив, канавкообразователь.*

MODERNIZATION OF THE COMB-FORMING MACHINE FOR POTATO CULTIVATION

Anatoly Bashkirev [1]***, Vladimir Semykin*** [2]***, Nikolay Shershnev*** [3]
[1,2,3] *KUR State Agrarian University named after I.I.Ivanov, Kursk, Russia*
[1]tmv46@mail.ru, [2]zaharkovo@rambler.ru, [3]shershnevnikola@yandex.ru

Abstract. *The conditions for watering potatoes when cultivating them on ridges have been tested and justified. The KG-2.8 ridge former cultivator was modernized to form a ridge of the specified parameters. In addition to the ridge-forming cultivator, a groove former was installed on each row to form a groove on the upper part of the ridge of a trapezoidal shape, capable of effectively retaining water during irrigation or rain and wetting the entire volume of the ridge. The groove maker has a trapezoidal roller, which is made with the ability to remove and install it on the ridge former body along the axis of the row of planted potatoes. It has been established that with the traditional shape of the ridge, when watering potatoes at an air temperature of more than 300C, intense drying of the soil occurs due to the fact that a significant part of the water simply flows into the aisle and does not have time to completely wet it. And after it begins to flow down the rows, watering is stopped. This drying leads to the fact that soil moisture*

after irrigation at a rate of 250 m3/ha in the area where the root system and potato tubers are located decreases in 4-5 days to a maximum humidity of 20%, at which the growth of tubers stops. It has been established that the use of a groove former together with a ridge former makes it possible to create conditions for the accumulation of water in a groove on the ridge and its subsequent filtration inside, to prevent the flow of water between rows and to create conditions for the exclusion of water runoff. Intensive wetting of the entire volume of soil in the ridge allows you to increase its drying time to 8 days, which will significantly reduce costs.

Keywords: *comb, furrow, comb technology, potato, comb cross-section, watering, konavkoobrazovatel.*

Для цитирования: Башкирев А.П., Семыкин В.А., Шершнев Н.С. Модернизация гребнобразователя для возделывания картофеля // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 5-10. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-5-10.

For citation: Bashkirev A., Semykin V., Shershnev N. Modernization of the comb-forming machine for potato cultivation. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 5-10. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-5-10.

Введение. Для развития сельского хозяйства, а в частности для повышения урожайности картофеля необходимо применять новые технологии и новые технические средства с целью получения максимальных урожаев. В большинстве хозяйств для возделывания картофеля применяются гребневые технологии. При возделывании картофеля гребнеобразование является одной из ответственных операций выполняемой перед всходами картофеля и выполняется различными типами гребнеобразователей. Создание гребня с установленными параметрами выполняет гребнеобразователь КГ-2,8 и другие. Современные гребнеобразователи создают трапецеидальную форму необходимую для формирования внутри него запланированного урожая клубней.

Современные технологии и используемые сорта и гибриды картофеля нацелены на применение полива при их возделывании. Полив позволяет повысить урожай картофеля практически в два раза по сравнению с выращиванием его без полива. Для полива используют дождевальные машины большой производительности. При этом задаются нормы полива от 200 - 300 т/га. Опыт применения полива показывает, что в средней полосе России периодичность полива колеблется от 5 до 10 суток. При этом необходимо не допускать снижение влажности почвы ниже 20% и не превышать ее долговременно более 34%. Наиболее оптимальной влажностью для интенсивного роста картофеля является диапазон 25…30 %.

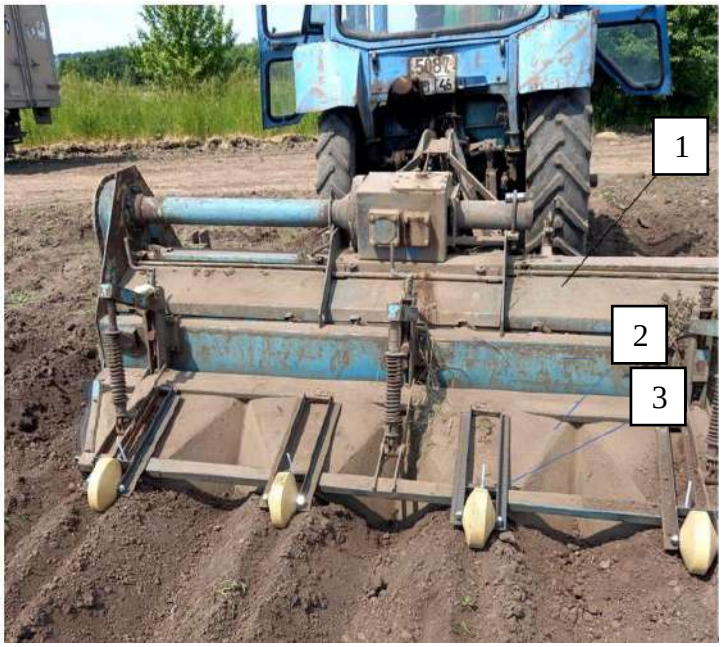
Гребневые технологии выращивания картофеля имеют большой недостаток в виде быстрого высыхания верхней части гребня и неэффективного использования питательных веществ в нем как при поливе, так и без него. Вода быстро скатывается с верхней части гребня в борозду и не промачивает ее. При этом в борозде начинается быстрое накопление воды и ее движение под уклон, что приводит к размыванию гряд.

Материалы и методы. Для исследований применялись методы конструирования и полевого опыта.

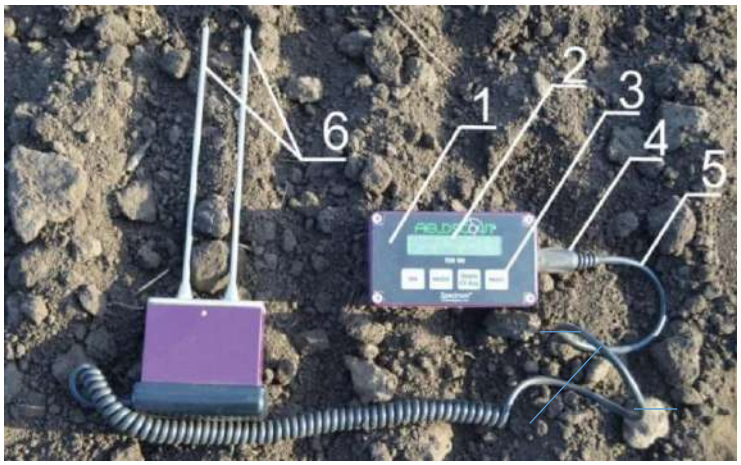
Результаты и их обсуждение. Проведена модернизация культиватора -гребнеобразователя в направлении изменения формы образуемого гребня. На рисунке 1 показан культиватор - гребнеобразователь с дополнительными рабочими органами для создания на вершине гребня бороздки, которая необходима для удержания воды при поливе или от выпадения осадков.

Усеченные конические каточки устанавливаются по оси рядка над образованным гнебнем и в процессе перекатывания создают на его вершине бороздку. В процессе полива картофеля вода задерживается в этой бороздке и фильтруется внутрь гребня.

Для исследований влажности почвы применяли влагомер TDR 100 представленный на рисунке 2.



1-фреза; 2- гребнеобразователь; 3- бороздкообразователь
Рисунок 1 - Модернизированный культиватор-гребнеобразователь



1 – блок прибора; 2 – жидкокристаллический дисплей; 3 –сенсоры режимов;
4 – порт соединения блока и датчика; 5 – кабель; 6 – щуп электродный
Рисунок 2 – Общий вид влагомера почвы TDR 100

Влажности почвы измеряется в пределах - от 0 % до 100 %. Для измерения использовали щуп длиной 20 см. Продолжительность измерения - менее одной секунды. Замеры влажности в точка гребня делали в трехкратной повторности.

Измерение влажности гребня проводили по оси рядка в 5 точках схемы через 10см от вершины вниз и показано на рисунке 3 . Точка «0» выбрана в нижней часть борозды.

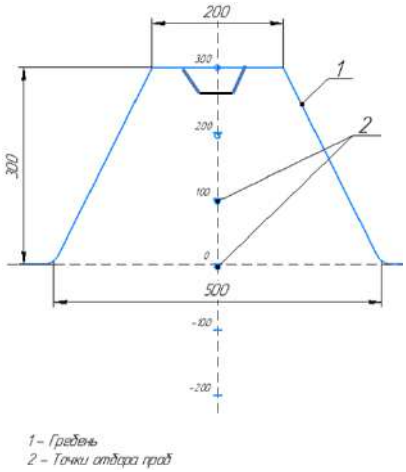


Рисунок 3 - Схема для отбора проб влажности почвы

Результаты определения влажности почвы с поливом картофеля без образования бороздки на вершине гребня представлены на рисунке 4.

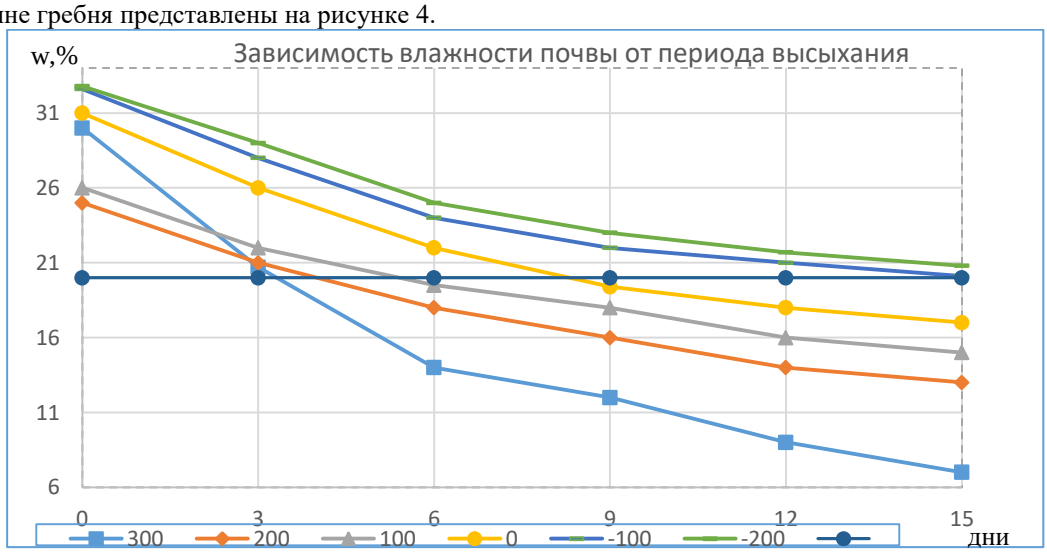


Рисунок 4 - Определение влажности почвы гребня картофеля

На графике (рисунок 4) показана горизонтальная линия 20 % влажности, которая является границей ниже которой прекращается рост и развитие растений. График показывает, что без бороздки вершина гребня высыхает до 20% за чуть больше 3 суток(график 300) а точка 200 мм от вершины высыхает за 4 дня(график 200), точка 100 мм высыхает за 6 дней(график 100), точка «0» высыхает за 9 дней. Остальные графики расположены выше линии 20%. Известно, что гнездо клубней картофеля находится в зоне между точками 0 - 200 мм. Основная масса корней картофеля также находится в этой зоне. Мы видим, что происходит неравномерное высыхание почвы в гребне.

Проведенные наблюдения показали, что при такой форме гребня за период экспозиции полива и норме 250 м^3/га средина гребня по его оси не всегда успевает промокнуть и достигнуть влажности 32% из-за быстрого стекания воды по трапецеидальному гребню потому и происходит быстрое высыхание и при этом наблюдается сток воды по бороздам. Этим объясняется влажность почвы в точках 200 и 100 мм в день полива.

Результаты определения влажности почвы с поливом картофеля с бороздкой на вершине гребня представлены на рисунке 5.

Применение бороздки на вершине гребня позволило изменить характер полива. Графические зависимости показывают, что весь объем гребня после полива имеет одинаковую влажность во всех точках ее определения. Вершина гребня высыхает до влажности почвы 20% за время больше 5 дней, а точки 200 – более 8 дней, точка 100 мм от вершины – почти 12 дней.

Приведенные результаты исследования влажности почвы гребня при возделывании картофеля показывают, что бороздка задерживает значительное количество воды при поливе картофеля, происходит полив всего объема гребня и можно увеличить периоды между поливами с 5 дней до 8. Это позволит сократить расходы на полив. За период полива произошли изменения формы гребня с канавкой. Форма гребня после осуществления 6 поливов картофеля показана на рисунке 6. Сам гребень из трапецеидальной формы стал округлый, форма канавки изменилась, но полностью не исчезла.

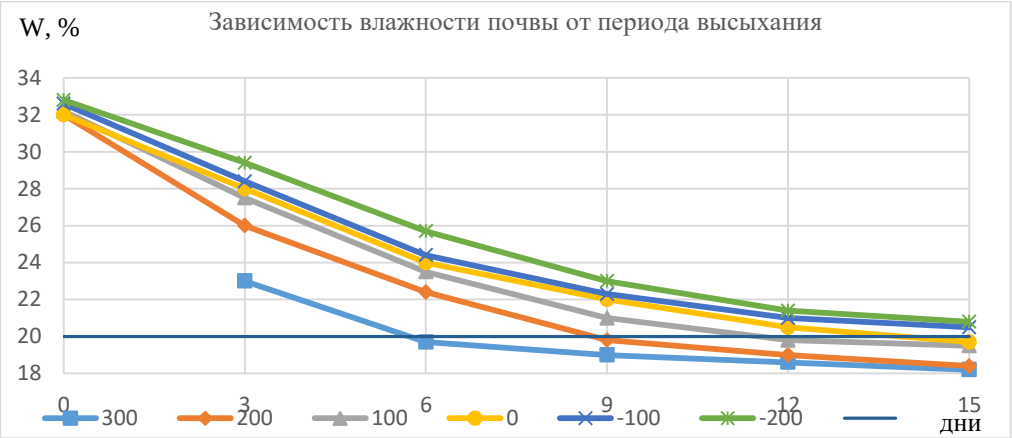


Рисунок 5 - Определение влажности почвы гребня картофеля с бороздкой в верхней части гребня

Рисунок 6 - Изменение формы гребня после поливов

Проведенный отбор проб урожайности картофеля показал, что урожай картофеля, выращенный на гребнях трапецеидальной формы с поливом, составил 34,4 т/га, а урожайность картофеля выращенный на гребнях с канавкой- 42,2 т/га.

Выводы. Проведенные исследования влияния полива картофеля при гребневой технологии ее возделывания показывают, что на получение высоких урожаев оказывает большое влияние не только полив, но и форма самого гребня с его способностью к смачиванию. Установлено, что создание на трапецеидальной форме гребня в его верхней части дополнительной канавки позволяет улучшить смачивание всего его объема. Это позволяет увеличить промежуток между поливами с 5 до 8 дней, что значительно сократит затраты на полив. Применение новой формы гребня позволит создать оптимальные условия для его смачивания, интенсивного роста сельскохозяйственной культуры и повысить урожайность клубней с 3.4 до 42.2 т/га.

Список источников

1. Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля // Наука в центральной России. 2022. No3(57). С. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

2. Особенности работы гребнеобразователей. /Башкирев А.П., Шварц А.А., Шершнев Н.С. //Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 47-52. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-47-52.

3. Старовойтова, О.А. Физико-механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, С.М. Духанина // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 16-20.

4. Основные свойства гребнеобразования. /Башкирев А.П., Шершнев Н.С.//В сборнике: Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК. материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курск, 2020. С. 369-371.

5. Особенности возделывания картофеля на поливе. / Башкирев А.П., Шершнев Н.С. //В сборнике: Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2020. С. 17-21.

References

1. Gadzhiev P.I., Bashkirov A.P., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P., Shershnev N.S. The influence of technological techniques on potato yield // Science in Central Russia. 2022. No3(57). pp. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

2. Features of the comb-forming machines. Bashkirev A.P., Shvartz A.A., Shershnev N.S. //Science in Central Russia. 2020. No. 3 (45). pp. 47-52. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-47-52.

3. Starovoitova, O.A. Physico-mechanical parameters of the soil when growing potatoes on ridges / O.A. Starovoitova, V.I. Starovoitov, A.A. Manokhina, S.M. Dukhanina // Agriculture. – 2018. – No. 5. – pp. 16-20.

4. Basic properties of comb formation. /Bashkirev A.P., Shershnev N.S.//In the collection: Actual problems of youth science in the development of agriculture. materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Kursk, 2020. pp. 369-371.

5. Features of potato cultivation on irrigation. / Bashkirev A.P., Shershnev N.S. //In the collection: Youth science - development of the agro-industrial complex. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. 2020. pp. 17-21.

Информация об авторах

А. П. Башкирев – доктор технических наук, профессор; В. А. Семыкин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Н.С. Шершнев – аспирант.

Information about the authors

A. Bashkirev – Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Semykin – Doctor of agricultural Sciences, Professor; N. Shershnev - postgraduate student.

Вклад авторов: А.П. Башкирев выполнил методическое обоснование исследований, В.А. Семыкин выполнил анализ технологии возделывания картофеля при поливе, Н.С. Шершнев выполнил опыты определения влажности почвы в гребне, ее анализ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: A. Bashkirev performed methodological substantiation of research, V. Semykin performed analysis of potato cultivation technology during irrigation, N. Shershnev performed experiments to determine soil moisture in the ridge, its analysis.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 635.21:633.491:631.559
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-11-16

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

Николай Сергеевич Шершнев
Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И.Иванова, г. Курск, Россия
shershnevnikola@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Николай Сергеевич Шершнев, shershnevnikola@yandex.ru
Corresponding author: Nikolai Shershnev, shershnevnikola@yandex.ru

Реферат. *Необходимо сформировать такой гребень по объему при гребневой технологии обработки почвы, который бы позволял развиться необходимой корневой системе картофеля, и можно было бы получить запланированный урожай при достаточном количестве влаги и питательных веществ. Целью исследования является обоснование параметров гребня. При исследовании применялись математические методы. Установлено, что в процессе вегетации картофеля происходит изменение заданной формы гребня, так как под воздействием осадков, полива, самооседания почвы, осыпания ее происходит превращение трапецеидальной формы в округлую. Необходимость создания мелкокомковатой структуры почвы в гребне, создания бороздки на верхней части гребня и ее применение при гребневой технологии производства картофеля были обоснованы. Параметры сечения гребня приняты исходя из этих данных. Были получены Аналитические зависимости для определения площади сечения трапецеидальной формы гребня как вновь сформированной, так и с дополнительной бороздкой, необходимой при поливе в процессе вегетации картофеля, были получены. Определены необходимые объемы почвы в образованном гребне. Проведенные наблюдения и расчеты для посадок картофеля с шириной междурядья 75 см, показывают, что форма гребня к моменту уборки претерпевает значительные изменения от исходной. Объем почвы в гребне в начале его формирования и перед уборкой отличается на 4,18%.*

Ключевые слова: *гребень, борозда, гребневая технология, картофель, сечение гребня, объем гребня.*

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE RIDGE AT POTATO CULTIVATION

Nikolay Shershnev
Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia
shershnevnikola@yandex.ru

Abstract. *It is necessary to form such a ridge in volume using the ridge technology of soil cultivation, which would allow the development of the necessary potato root system, and it would be possible to obtain the planned harvest with a sufficient amount of moisture and nutrients. The purpose of the study is to substantiate the parameters of the ridge. Mathematical methods were used in the study. It has been established that during the growing season of potatoes, a change in the given shape of the ridge occurs, since under the influence of precipitation, watering, soil self-settling, and shedding, the trapezoidal shape transforms into a round one. The need to create a fine-clump soil structure in the ridge, to create a groove on the top of the ridge and its use in ridge technology for potato production was justified. The ridge section parameters were adopted based on these data. Analytical dependencies were obtained to determine the cross-sectional area of the trapezoidal ridge, both newly formed and with an additional groove required for irrigation during the potato growing season. The required volumes of soil in the formed ridge were determined. Observations and calculations carried out for planting potatoes with a row spacing of 75 cm show that the shape of the ridge by the time of harvesting undergoes significant*

changes from the original. The volume of soil in the ridge at the beginning of its formation and before harvesting differs by 4.18%.

Keywords: *crest, furrow, ridge technology, potato, crest cross-section, crest volume.*

Для цитирования: Шершнев Н.С. Обоснование параметров гребня при возделывании картофеля // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 11-16. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-11-16.

For citation: Shershnev N. Justification of the parameters of the ridge at potato cultivation. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-11-16.

Введение. Известны особенности применения энергосберегающих и гребневых технологий возделывания картофеля в условиях черноземных земель. Гребневые технологии возделывания картофеля основаны на образовании заданной формы гребня с мелкокомковатой структурой почвы [1,2,3]. Агротехнические требования к росту и развитию картофеля требуют отсутствия на поверхности почвы клубней, их позеленения, что дает некондиционный картофель. Целью исследования является обоснование параметров гребня. Создание гребня ведет к тому, что необходимо сформировать нужный объем почвы в зоне роста куста с учетом качественной развития корневой системы. Применяемые ширины междурядий 75 см при гребневой технологии и урожаях более 30 т/га необходимо увеличивать до 90 см чтобы исключить позеленение картофеля к периоду уборки и сохранения ее товарного вида [4,5,6]. Для формирования гребней на посадках картофеля применяются как гребнеобразователи отечественного, так и импортного производства для разной ширины междурядий, например, используются следующие культиваторы-гребнеобразователи АПК-3,00, КГО-3,6, Gruse KP-12, Grimme GH 4 [7.8.9]. Совершенствование гребневой технологии возделывания картофеля является актуадьной проблемой сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы. Расчетно-конструктивные методы, методы математики и теоретической механики.

Результаты и их обсуждение. Современные технологии производства картофеля нацелены на использование гребневых технологий при ширине междурядья 75 и 90 см. Создание гребней позволяет образовать в зоне рядка с посадками картофеля необходимого объема почвы для формирования мощной корневой системе при его росте и развитии. В рыхлой и достаточно прогреваемой почвы корневая система интенсивно наращивается и формирует рост ботвы и тем самым создает условия для получения большого количества завязей клубней.

Для создания необходимого объема почвы для хорошего развития клубней необходимо учитывать несколько факторов: планируемый урожай картофеля, ширина междурядья, параметры гребня и др. Для создания необходимого объема почвы в гребне для одного куста картофеля с учетом этих факторов можно определить необходимые параметры гребня для создания необходимых условий получения запланированных урожаев.

На рисунке 1 показана форма гребня при образовании его гребнеобразователем. Как продемонстрировано, гребень имеет четкую трапециедальную форму. Основываясь на вышеизложенном на рисунке 2 представлена схема идеальной формы гребня, которую создают современные гребнеобразователи.

Для определения площади сечения гребня используем известное выражение для определения площади трапеции [10], м^2:

$$S_т = ½ H(b+a); \quad (1)$$

где в- ширина междурядья, м

а- ширина вершины гребня, м

Н- высота гребня, м

Если необходимо определить объем гребня, то можно использовать выражение:

$$V_г = ½ H(b+a) L, м^3 \quad (2)$$

где L - длина гребня.

Рисунок 1- Гребень почвы образованный гребнеобразователет

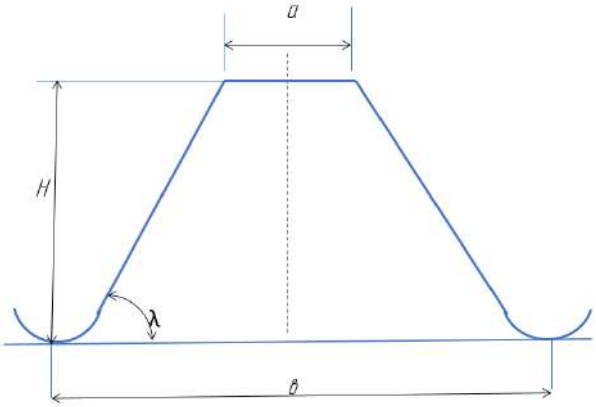


Рисунок 2- Схема гребня, образованного гребнеобразователем

В процессе развития и роста клубней картофеля до момента уборки происходит изменение формы и размеров гребня. Это происходит от того, что под воздействием осадков, выращенного урожая, воздействия ходовых систем тракторов и сельскохозяйственных машин и др. факторов.

К моменту уборки объем гребня будет увеличен на величину выращенного урожая объем гребня можно определить как сумму объемов почвы в гребне и выращенного урожая. Следовательно объем гребня составит:

$$V_{гк} = V_г + V_к \ , м^3 \quad (3)$$

где $V_к$- объем урожая выращенных клубней, $м^2$

Объем урожая выращенных клубней прямопропорционален урожайности и их плотности:

$$V_к = У * \gamma_к \ , м^3 \quad (4)$$

где $У$ – урожайность клубней картофеля, т/га

$\gamma_к$ – плотность клубней картофеля, $кг/м^3$

Тогда

$$V_{гк} = V_г + V_к = ½ H(b+a) L + У * \gamma_к \ , м^3 \quad (5)$$

Анализируя полученное выражение (5), видим, что за счет увеличения объема гребня растет имеющийся урожая в нем. Поэтому можно определить уровень повышения объема гребня за счет наличия в нем урожая картофеля:

$$\triangle = (V_к / V_{гк}) \ 100; \ \% \quad (6)$$

Тогда

$$\triangle = \frac{У \ \gamma_к}{\frac{1}{2}H(в+a)L + У \ \gamma_к} \ 100\% \quad (7)$$

К моменту уборки клубней картофеля трапецеидальная форма гребня претерпит изменения из-за осадки рыхлой почвы за период вегетации, размывания верхней части гребня осадками и применения полива, изменения формы гребня под воздействием роста клубней в гребне, которые приведут к тому, что форма гребня несколько округлится в верхней части и часть ее переместится от вышеуказанных причин в нижнюю часть борозды и принять форму показанную на рисунке 2. Величина осыпания почвы в борозде h_1 будет зависеть от величины h эти величины можно принять одинаковыми, так как половина почвы с верхушки гребня будет ссыпаться влево от

гребня, а половина – в право. Ширина верхней части гребня ***а*** необходима около 0,2 м, а ширина борозды составляет 0,1 м.

Рисунок 3- Форма гребня к началу уборки

Определим объем гребня с учетом факторов, которые изменили ее за период вегетации картофеля.

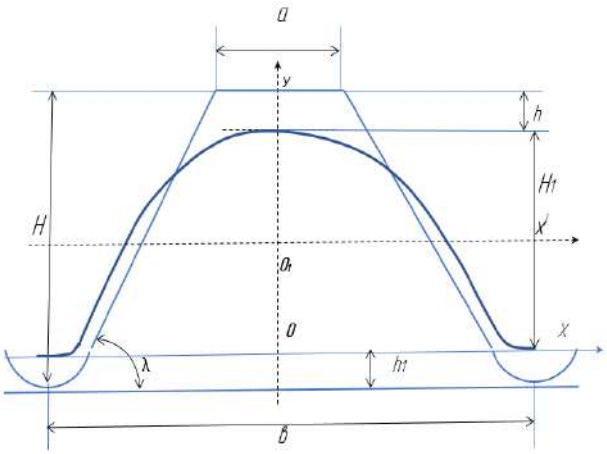


Рисунок 4- Схема гребня перед уборкой

Площадь сечения гребня определим из выражения (рисунок 4):

$$S = S_1 + S_2, \ м^2 \quad (8)$$

где S_1– площадь сечения прямоугольника шириной *в* и высотой h_1,м^2

$$S_1 = в\ h_1, \ м^2 \quad (9)$$

S2 – площадь сечения измененного гребня, м^2.

Рассматривая эту схему гребня, можно заметить, что она может быть представлена косинусоидой и для определения площади ее сечения можно применить следующее выражение [10]:

$$S_2 = \int_a^b \cos x\, dx\ ; \quad (10)$$

где

а=- в/2,

в= в/2,

Определим уравнение косинусоиды для дальнейшего определения площади сечения гребня, которое в общем виде имеет вид:

$$y = A\cos kx + B \quad (11)$$

В точке O_1 x=0, тогда:

$$y = \frac{H1}{2}, \text{ т.е. } A = H_1/2 \quad (12)$$

Тогда

$$B = \frac{H1}{2}, \quad (13)$$

Так как период косинуса равен 2π, то kx=2π,

$$x = 2\pi/k, \quad (14)$$

где к=в

Таким образом, получим функцию вида:

$$y = \frac{H1}{2} cos\ вx + \frac{H1}{2}; \quad (16)$$

Следовательно уравнение косинусоиды примет вид:

$$y = \frac{H1}{2} * cos2\pi x / в + H_1/2 = \frac{H1}{2}(cos2\pi x / в + 1). \quad (17)$$

На основе полученного выражения определим площадь сечения гребня под линией косинусоиды и осью X:

$$S_2 = 2\frac{H1}{2}\int_0^{\frac{в}{2}}\left(\cos 2\pi x\frac{2\pi}{в} + 1\right)dx =$$

$$= H_1\left(\frac{в}{2\pi} sin\frac{2\pi}{в}x + x\right)\Big/_{-\frac{в}{2}}^{\frac{в}{2}} = H_1\left(\frac{в}{2\pi} sin\frac{2\pi}{в}\frac{в}{2} + \frac{в}{2} - 0 = \frac{в}{2}H_1\right. . \quad (18)$$

Тогда с счетом выражения (18) получим итоговую формулой для определения площади сечения гребня перед уборкой:

$$S = в\ h_1 + \frac{в}{2}H_1. \quad (19)$$

Проведенные расчеты площадей ограниченные трапецией и косинусоидой показывают, что Sт = 0.1435м^2 а Scos = 0.1495м^2 . Полученные данные говорят о том, что площади отличаются на 4,18%.

Выводы. Гребневые технологии производства картофеля позволяют получить запланированный урожай с учетов соблюдения требований к самой форме гребня. Современные гребнеобразователи позволяют получить четкую трапецеидальную форму: высота гребня 300 мм, ширина основания 500 мм, ширина гребня по вершине – не менее 200 мм. Для комфортного роста клубней картофеля в гряде нужно создать и необходимый объем почвы. Получены аналитические зависимости для расчета параметров гребня при его окончательном формировании перед всходами (1) и перед ее уборкой (19). Полученные данные расчета параметров позволят использовать их при обосновании рабочих органов гребнеобразователей и картофелеуборочных комбайнов.

Список источников

1. 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.

2. Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Манаенков К.А. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля // Наука в центральной России, 2020. No4(46). С.33-40- doi:10.35887/2305-2538-2020-4-33-40.

3. Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля // Наука в центральной России. 2022. No3(57). С. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

4. Особенности работы гребнеобразователей. /Башкирев А.П., Шварц А.А., Шершнев Н.С. //Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 47-52. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-47-52.

5. Старовойтова, О.А. Физико-механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, С.М. Духанина // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 16-20.

6. Основные свойства гребнеобразования. /Башкирев А.П., Шершнев Н.С.//В сборнике: Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК. материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курск, 2020. С. 369-371.

7. Особенности возделывания картофеля на поливе. / Башкирев А.П., Шершнев Н.С. //В сборнике: Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2020. С. 17-21.

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

9. 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.

10. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие для вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 608 с. — ISBN 978-5-507-44578-3. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/238460 (дата обращения: 28.03.2023).

References

1. Starovoitova O.A. Development and improvement of elements of potato cultivation technology in relation to the conditions of the changing climate of the Non-Chernozem zone of Russia - dis.... Doctor of Agricultural Sciences: 05.20.01 / O.A. Starovoitova. 2020.

2. Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Manaenkov K.A. Improving the efficiency

of tillage for combine harvesting of potatoes // Science in Central Russia, 2020. No4(46). pp.33-40- doi:10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

3. Gadzhiev P.I., Bashkirov A.P., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P., Shershnev N.S. The influence of technological techniques on potato yield // Science in Central Russia. 2022. No3(57). pp. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

4. Features of the comb-forming machines. Bashkirev A.P., Shvartz A.A., Shershnev N.S. //Science in Central Russia. 2020. No. 3 (45). pp. 47-52. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-47-52

5. Starovoitova, O.A. Physico-mechanical parameters of the soil when growing potatoes on ridges / O.A. Starovoitova, V.I. Starovoitov, A.A. Manokhina, S.M. Dukhanina // Agriculture. – 2018. – No. 5. – pp. 16-20.

6. Basic properties of comb formation. /Bashkirev A.P., Shershnev N.S.//In the collection: Actual problems of youth science in the development of agriculture. materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Kursk, 2020. pp. 369-371.

7. Features of potato cultivation on irrigation. / Bashkirev A.P., Shershnev N.S. //In the collection: Youth science - development of the agro-industrial complex. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. 2020. pp. 17-21.

8. 10. Gadzhiev P.I. Agrotechnical indicators of soil milling with a tooth-shaped knife / P.I. Gadzhiev, M.S. Shikalov, G.G. Ramazanova, A.I. Alekseev // Resource-saving environmentally safe technologies and equipment in the agro-industrial complex. Materials of the international scientific and practical conference. April 18-19, 2019. pp.25–29.

9. Ramazanova G.G. Parameters and modes of operation of the milling cutter for pre-planting tillage for potatoes: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01.M., 2016. 132 p.

10. Bronstein, I. N. Handbook of mathematics for engineers and students of higher education institutions: a textbook for universities / I. N. Bronstein, K. A. Semendyaev. — Saint Petersburg: Lan, 2022. — 608 p. — ISBN 978-5-507-44578-3. — Text: electronic // Lan : electronic library system. — URL: https://e.lanbook.com/book/238460 (accessed: 03/28/202).

Информация об авторах

Н.С. Шершнев – аспирант.

Information about the authors

N. Shershnev - postgraduate student.

Вклад авторов: Н.С. Шершнев выполнил все этапы обоснования параметров гребня при возделывании картофеля.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: N.Shershnev completed all the stages of substantiating the parameters of the ridge when cultivating potatoes.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-17-25

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА С РЕЖИМАМИ РАБОТЫ И НАСТРОЕЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

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

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

Реферат. *Исследовали возможности снижения остаточной засоренности зерна и технологических потерь. Устанавливали взаимосвязи качественных показателей работы триера со скоростью вращения цилиндра, параметрами циркулирующего сегмента и настройкой выводного лотка во времени опыта с интервальной оценкой. Исследования выполнены с помощью стенда циклического действия, обеспечивающего замену традиционной пространственной физической модели на временную и кардинальное повышение результативности эксперимента. Установлен характер изменения процесса по времени и длине ячеистого цилиндра, который можно разделить на три характерные участка. На первом участке интенсивность выделения зерновок основной культуры линейно возрастает при всех значениях масс циркулирующего сегмента. Получено, что, чем выше масса циркулирующего сегмента, тем ниже начальное значение интенсивности выделения зерновок основной культуры за счет преобладания эффекта динамического «выедания», а период стабилизации процесса длиннее. На втором участке достигается максимальное значение интенсивности выделения зерновок основной культуры при циркуляции в сегменте 4-х – 5-ти слоев зерна и преобладании эффекта инерционного удержания контактирующего слоя. На третьем участке интенсивность выделения зерновок основной культуры параболически убывает идентично для всех значений масс циркулирующего сегмента при заданных частоте вращения ячеистого цилиндра и углового положения выводного лотка. Установлено, что при росте частоты вращения до 35 об/мин исходная засоренность зерносмеси практически не влияет на степень выделения. Регламентированный уровень технологических потерь менее 5% при угле установки лотка 40° обеспечивается скоростным режимом работы 40 об/мин. Интенсивность выброса примесных частиц в выводной лоток пропорциональна исходной засоренности зерносмеси и времени перемещения сегмента по ячеистому цилиндру. С ростом угла установки выводного лотка в диапазоне 20° – 40° интенсивность выброса примесных частиц снижается в 3,8 – 5,0 раз.*

Ключевые слова: *триер, зерносмесь, качество работы, настройка, исходная засоренность*.

RELATIONSHIP OF THE QUALITY OF TRIER GRAIN CLEANING WITH OPERATING MODES AND ADJUSTING PARAMETERS

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

Abstract. *The possibilities of reducing residual grain contamination and technological losses were investigated. The relationships between the qualitative indicators of the trier's operation and the speed of rotation of the cylinder, the parameters of the circulating segment and the setting of the output tray during the experiment with interval evaluation were established. The studies were carried out using a*

cyclic stand, which ensures the replacement of the traditional spatial physical model with a temporary one and a radical increase in the effectiveness of the experiment. The nature of the change in the process over time and the length of the cellular cylinder, which can be divided into three characteristic sections, has been established. In the first section, the intensity of the release of grains of the main crop increases linearly for all values of the mass of the circulating segment. It was found that the higher the mass of the circulating segment, the lower the initial value of the intensity of the release of grains of the main crop due to the predominance of the dynamic "eating" effect, and the period of stabilization of the process is longer. In the second section, the maximum value of the intensity of the release of grains of the main crop is achieved with circulation in the segment of 4 - 5 layers of grain and the predominance of the effect of inertial retention of the contacting layer. In the third section, the intensity of the release of grains of the main crop decreases parabolically identically for all mass values of the circulating segment at a given rotation frequency of the mesh cylinder and the angular position of the output tray. It has been established that when the rotation speed increases to 35 rpm, the initial contamination of the grain mixture has virtually no effect on the degree of release. The regulated level of technological losses of less than 5% at a tray installation angle of 40° is ensured by a high-speed operating mode of 40 rpm. The intensity of the emission of impurity particles into the output tray is proportional to the initial contamination of the grain mixture and the time of movement of the segment along the mesh cylinder. With an increase in the installation angle of the output tray in the range of 20° - 40°, the intensity of the emission of impurity particles decreases by 3.8 - 5.0 times.

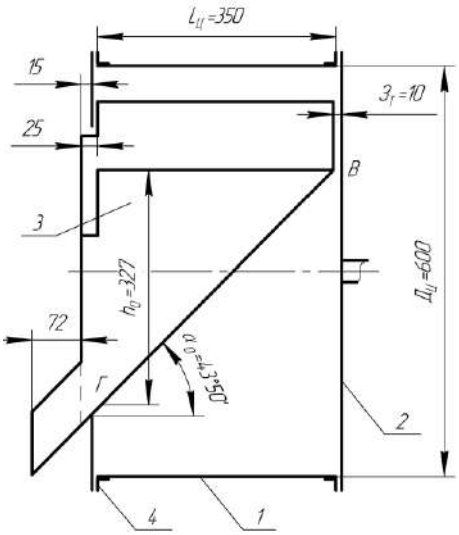
Keywords: *trier, grain mixture, quality of work, setting, initial contamination*.

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь качества триерной очистки зерна с режимами работы и настроечными параметрами // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 17-25. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-17-25.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A. Relationship of the quality of trier grain cleaning with operating modes and adjusting parameters. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 17-25. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-17-25.

Введение. В работах [1−3] на очень детальном уровне дано описание движения зерновок в ячеистом цилиндре: представлены условия выпадения зерновок из ячей; их движения после отрыва от ячей; циркуляции зерновых слоев в сегменте и др. Эти результаты теоретических исследований послужили основой выбора рациональных режимов работы и параметров триеров. Дальнейшее развитие теория триеров получила в работах Кубышева В.А. [4], Ивлевой Н.М. [5, 6], Терского Г.Д. [7]и других авторов. Однако, теоретическим способом попрежнему сложно было решать проблемы качества триерной очистки зерносмесей. Значительный вклад в исследования по оценке полноты выделения примесей из зерносмесей внесли Павловский Г.Т. [8, 9], Урханов Н.А. [10, 11], Бурков А.И. [12, 13] и другие ученые. Они широко исследовали взаимосвязи степени выделения ($C_в$) примеси и остаточной засоренности ($З_о$) зерна с подачей ($W_п$), скоростным режимом работы (n) и положением выводного лотка ($\gamma_п$), рассматривая механическую систему и технологический процесс в поперечном сечении триерного цилиндра. Однако, перспективы модернизации триеров в части повышения качества технологического процесса, автоматизации управления режимами работы требуют знаний динамики и особенностей протекания процесса по длине ячеистого цилиндра. Эти знания весьма ограничены, так как сложно из смешанных результатов на выходе вычленить оценочные показатели с привязкой к величине осевого смещения сегмента ($C_в$ ($З_о$) = f_1(x)) или к времени его смещения ($C_в$ ($З_о$) = $f_2(t)$). Установление указанных взаимосвязей представляет собой весьма актуальную задачу, решение которой возможно с использованием новой физической модели процесса с интервальным (по времени) контролем его результатов.

Материалы и методы. Исследования проводили с использованием стенда циклического действия (Патент РФ № 2616201), разработанного ФГБНУ ВНИИТиН, который впервые позволил реализовать новую физическую модель процесса триерной очистки зерносмеси с интервальным (по времени) контролем результативных показателей, рисунок 1.



1 – ячеистый цилиндр; 2 – приводной диск; 3 – выводной лоток; 4 – блокирующий фланец
Рисунок 1− Схема стенда для исследований ячеистых поверхностей

Об адекватности новой физической модели реальному процессу триерной очистки зерносмесей впервые высказался один из основоположников земледельческой механики – Летошнев М.Н. [1]. Он предлагал оценивать технологический процесс на основе анализа «движения циркулирующего сегмента единичной длины вдоль ячеистой поверхности» с убыванием числа циркулирующих слоев.

В предложенной физической модели ячеистый цилиндр 1 укорочен, что позволяет обеспечить достаточное значение угла α_0 = 43,5° наклона днища выводного лотка 3 и контролировать интенсивность выделения частиц ($W_в$) зерносмеси с заданным интервалом времени. При выделении трудноотделяемых примесей продолжительность опыта не ограничена по времени, что позволяет определять для каждого примесного компонента эквивалентные длины ячеистых поверхностей для заданных величин $C_в$ и (или) $З_о$.

При исследовании взаимосвязей $W_в = f_3(З_и, \gamma_п, n, m_н)$ заданную величину навески ($m_н$) зерносмеси с исходной засоренностью ($З_и$) загружали в ячеистый цилиндр 1, разравнивали вдоль него, устанавливали угол подъема ($\gamma_п$) верхней кромки передней стенки выводного лотка и скоростной режим работы (n) стенда. Затем включали привод и мерными емкостями отбирали отводимый поток выделенных частиц с определенным интервалом времени. При исследовании взаимосвязей угла охвата ($\gamma_{ох}$) циркулирующего сегмента с величинами $m_н$, n, $З_и$, и временем опыта ($\gamma_{ох} = f_4(m_н, n, З_и, t)$) блокирующий фланец 4 заменяли прозрачной стенкой из оргстекла с угловой шкалой, а по результатам исследований и размерным характеристикам зерновок основной культуры рассчитывали число циркулирующих слоев ($n_{сл}$).

Результаты и обсуждение. Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2. Из таблицы 1 видно, что при $\gamma_п$ = 10° в опыте № 1 обеспечивается полное выделение навески зерна $m_н$ = 4,9 кг за время t = 50 с после его загрузки в стенд. С последующим ростом $\gamma_п$ полного выделения зерна за 50 с не обеспечивается из-за недостаточного скоростного режима работы триера n = 30 об/мин. Остаточная масса при t > 50 с и $\gamma_п$ < 20° недостаточна для формирования сплошного циркулирующего сегмента. Поэтому зерновки от динамического взаимодействия с ячеями находятся во взвешенном состоянии и маловероятным их захватом ячеями. Циркулирующий сегмент начинает формироваться при $m_{ост}$ ≈ 350 г на скоростном режиме n = 30 об/мин и $\gamma_п$ = 30°. Рост $\gamma_п$ от 10° до 30° снижает величину $C_в$ на 6,1%.

С увеличением скоростного режима работы от n = 30 об/мин до n = 35 об/мин $C_в$ увеличилась на 0,4% при равных для этих режимов положениях выводного лотка ($\gamma_п$ = 20°). Основным

фактором формирования сплошного сегмента зерносмеси является величина $m_{ост}$. При $m_{ост}$ > 232 г даже с ростом n на 17% формируется циркулирующий сегмент. Величина исходной засоренности ($З_и$) не оказывает существенного влияния на $C_в$ при $\gamma_п$ = 40° и n = 35 об/мин.

Кроме того, указанное выше приращение скоростного режима на 17% приводит к снижению $m_{ост}$ на 14% при $\gamma_п$ = 20° и на 39% при $\gamma_п$ = 30°. Качество процесса по показателю $C_в$ увеличилось на 3,4%, что подтверждает значимое влияние фактора n на процесс с ростом $\gamma_п$.

С увеличением $\gamma_п$ до 40° скоростной режим работы n = 35 об/мин является недостаточным – потенциальные технологические потери составляют 19,6%. По истечению t = 50 с толщина циркулирующего сегмента составляет 21 мм, она близка к оптимальной с точки зрения интенсивности выделения зерновок основной культуры ($W_в \rightarrow max$), но смещена в конец ячеистого цилиндра из-за $n < n_{opt}$ и увеличивает риски технологических потерь. В 12-ом опыте при указанных условиях (см. таблицу 1) выделилась максимальная навеска основной культуры ($m_н$ = 1440 г за 10 с).

Таблица 1 – Показатели процесса разделения через 50 с после загрузки зерносмеси в стенд

№ п/п	Условия эксперимента					Показатели процесса				
	$m_н$, кг	n, об/мин	$\gamma_п$, град	$З_и$, %	$З_р$, мм	$C_в$, %	$n_{сл}$, шт	$m_{ост}$, г	$h_с$, мм	$\gamma_{ох}$, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4,9	30	10	1	20	100	0	0	0	0
2	4,9	30	15	1	20	98,9	–	100	–	–
3	4,9	30	20	1	20	97,8	–	153	–	–
4	4,9	30	30	1	20	93,9	2,5	349	8	58,6
5	4,9	35	20	1	20	98,2	–	132	–	–
6	4,9	35	30	1	20	96,6	–	214	–	–
7	4,9	35	40	1	20	96,2	1,7	232	5	43,8
8	4,9	35	40	2	20	95,6	1,9	309	6	48,7
9	4,9	35	40	3	20	95,9	2	344	7	50,9
10	7,7	35	20	1	20	98,6	1,9	177	6	48,2
11	7,7	35	30	1	20	96,3	3,4	357	11	69,8
12	7,7	35	40	1	20	80,4	6,6	1587	21	90,5
13	7,7	35	20	2	20	98,7	2,2	244	7	53,7
14	7,7	35	30	2	20	96,4	3,6	424	12	71,5
15	7,7	35	40	2	20	80,6	6,7	1644	21	90,9
16	7,7	35	20	3	20	98,9	2,3	301	7	55,2
17	7,7	35	30	3	20	96,9	3,6	461	12	71,8
18	7,7	35	40	3	20	81,2	6,7	1671	22	91,2
19	7,7	40	40	3	20	98,8	2,1	312	7	55,3
20	7,7	40	40	3	15	98,6	2,3	526	7	59,3
21	7,7	40	40	3	10	98,4	2,4	571	8	61,3

Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 2% при $m_н$ = 7,7 кг также не оказывает существенного влияния на результативные показатели – $C_в$, $m_{ост}$, $\gamma_{ох}$. Некоторое приращение $m_{ост}$ и $\gamma_{ох}$ объясняется увеличением массовой доли примесного компонента в остатке. При переходе с настройки выводного лотка от $\gamma_п$ = 20° на $\gamma_п$ = 30° во всем диапазоне $З_и$ = 1-3% происходит снижение степени выделения зерновок основной культуры лишь на 2,0-2,3%, что указывает на устойчивость параметров факела выброса этих частиц.

Условия опытов № 9 и № 18 совпадают по большинству основных параметров (n, $\gamma_п$, $З_и$, $З_р$), но различаются лишь по величине $m_н$ – в опыте № 18 она на 57% повышена. При этом величина $C_в$ резко снижается (на 14,7%), а потенциальные технологические потери возрастают в 4,86 раза. Объяснить эту взаимосвязь возможно на основе анализа ранее выявленных закономерностей [14]

протекания процесса выделения зерновок основной культуры по длине ячеистой поверхности при подачах ($W_п$), эквивалентных величинам $m_н$.

Идентифицированная (эквивалентная $m_н$) производительность выделения зерновок основной культуры триером рассчитывается по формуле [15]:

$$W_в = \sum_{1}^{L_ц / l_р} \left[\int_{0}^{\Delta t_i} q_i(t)dt / \Delta t \right], \quad (1)$$

где $L_ц$ – длина стандартного ячеистого цилиндра, м;

$l_р$ – рабочая длина ячеистой поверхности стенда, м;

Δt – диапазон времени контроля стендового процесса выделения основной культуры из зерносмеси, с;

$q_i(t)$ – интенсивность выделения стендом зерновок основной культуры в i-ом интервале времени диапазона Δt, г/с.

Подинтегральное выражение в форме (1) представляет собой вклад i-го интервала процесса в среднее значение интенсивности выделения зерновок основной культуры в диапазоне Δt. Для расчета средней величины производительности $\overline{W_в}$ использованы экспериментальные данные, детализация о которых в таблице 1 не предоставлена.

Учитывая воспроизводимость функции $q_i(t)$ для конкретных условий опытов, будем иметь:

$$\begin{cases} m_{н_1} = 4,9 \text{ кг} \rightarrow \overline{W_{в_1}} = \dfrac{2,2}{0,35} \times \left[(530+760+790+790+770+620+327+116)/50 \right] = \\ = 6,286 \times 94,06 = 591,3 \text{ г/с} = 2,129 \text{ т/ч}; \\ m_{н_2} = 7,7 \text{ кг} \rightarrow \overline{W_{в_2}} = \dfrac{2,2}{0,35} \times \left[(920+1200+1280+1430+1430)/50 \right] = 787 \text{ г/с} = \\ = 2,833 \text{ т/ч}. \end{cases} \quad (2)$$

Можно заметить, что число слагаемых в формулах (2) разное. Это объясняется тем, что число интервалов времени замеров в диапазоне Δt при различных $m_н$ было разным. Кроме того $m_{н_2} / m_{н1} > \overline{W_{в_2}} / \overline{W_{в_1}}$, так как при $m_{н_2}$ = 7,7 кг наблюдаются большие технологические потери ($П_т$), которые определяются соответствием величины подачи ($W_п$) режиму работы (n) и настройке ($\gamma_п$) триера. $П_т = m_{ост}$.

При расчете эквивалентных подач зерносмеси в триер необходимо учесть величины $П_т$:

$$\begin{cases} m_{н_1} = 4,9 \text{ кг} \rightarrow W_{п_1} = 6,286 \times \left(94,06 + \dfrac{П_{т_1}}{50} \right) = 2,284 \text{ т/ч}; \\ m_{н_2} = 7,7 \text{ кг} \rightarrow W_{п_2} = 6,286 \times \left(125,2 + \dfrac{П_{т_2}}{50} \right) = \left(125,2 + \dfrac{1671}{50} \right) \times 6,286 = \\ = 997,1 \text{ г/с} = 3,59 \text{ т/ч}. \end{cases} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что соотношение подач, учитывающих средние величины $\overline{W_в}$ и технологические потери пропорциональны навескам ($m_н$) – подача $W_{п_2}$ также на 57% $W_{п_1}$. Кратный рост (4,86 раза) технологических потерь ($П_т$) при $m_{н_2}$ = 7,7 кг объясняется, как было указано выше, выявленной нами спецификой протекания процесса выделения зерновок основной культуры. Она заключается в том, что на первом участке ячеистого цилиндра величина $W_в$ ниже некоторой величины $W_{вmax}$, характерной для любого уровня подачи ($W_п$) из реального диапазона. Однако $W_{в\,max}$ наблюдается тем позже (в некоторый момент t_i), чем больше $W_{п_i}$, так как до момента t_i

преобладает эффект динамического «выедания» зерновок из ячей над эффектом инерционного удержания контактирующего слоя.

В сравниваемых условиях (опыты № 9 и № 18) $W_{в\ max1}$ наблюдается через 18 с, а $W_{в\ max2}$ – через 45 с. После момента t_i при равных условиях по скоростному режиму работы (n) и настройке выводного лотка ($\gamma_п$) взаимосвязь $W_в = W_в(t)$ является идентичной для всех $W_{п_i}$, если величина $L_ц$ или Δt достаточны для реализации процесса при минимальных технологических потерях ($П_{т\,min}$) или допустимых по НТД [$П_{т_н}$].

При $W_{п_2}$ = 3,59 т/ч и условиях работы триера (n = 35 об/мин и $\gamma_п$ = 40°) величина Δt оказалась недостаточной, а технологические потери составили:

$$П_{т_2} = \left(W_{п_2} - \overline{W}_{в2}\right) / W_{п_2} \times 100\% = \left(3,59 - 2,833\right) / 3,59 \times 100\% \approx 21\%. \quad (4)$$

Согласно нормативно-технической документации (НТД), подготовленной головным предприятием по выпуску зерноочистительных машин (ООО «Воронежсельмаш») допустимые технологические потери для триеров составляют 5%.

Причиной неизбежных технологических потерь является динамическое воздействие ячей на зерновки основной культуры при отсутствии сплошности циркулирующего сегмента в конце ячеистого цилиндра. Это воздействие превышает сумму инерционных и гравитационных сил, действующих на зерновки. Причем зерновки подвергаются динамическому воздействию в указанной зоне ячеистого цилиндра многократно, поэтому снижается вероятность их захвата.

Даже в условиях опыта № 9 при $m_н$ = 4,9 кг, когда в сравнении с условиями опыта № 18 имеется запас времени на завершение процесса в 27 с (t_{i2} - t_{i1} = 45-18 = 27 с) технологические потери составляют $П_{т_1} = 2,1\%$. Если продлить процесс при $m_н$ = 7,7 кг после t_{i2} на те же 27 с, то получим сопоставимую величину технологических потерь, что подтверждает идентичность протекания процесса после момента t_i при всех $W_{п_i}$.

Снижение или исключение технологических потерь ($П_т$) возможно, как было показано выше, за счет: повышения скоростного режима работы (n); снижения подачи зерносмеси в триер ($W_п$) и настройки выводного лотка ($\gamma_п$). Однако, указанные возможности снижения $П_т$ имеют ограничения, исходящие из требований к триерным технологиям по критерию остаточной засоренности зерна ($З_о$).

Например, при росте n и понижении $\gamma_п$ повышается вероятность выброса в выводной лоток частиц примесных компонентов. В случаях реализации всех резервов снижения $П_т$ ($n \to max$; $W_в$, $\gamma_п \to min$) повышается вероятность появления свободной ячеистой поверхности от зерновок основной культуры. По этому участку сходом перемещается примесный компонент с длинными частицами, который обладает связностью частиц, что повышает риски их захвата ячеями и выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Примесные частицы разделяемой зерносмеси так же, как и зерновки основной культуры участвуют в формировании выявленных физических эффектов (динамическое «выедание» зерновок из ячей; инерционное удержание контактирующего слоя) и степени их влияния на результаты технологического процесса.

Очевидно, что при малых значениях $\gamma_п$ при равных значениях скоростного режима (n) работы триера инерционно удерживаемые примесные частицы в контактирующем слое, будут в большем количестве забрасываться в выводной лоток, увеличивая остаточную засоренность ($З_о$).

При росте $\gamma_п$ необходимо увеличивать n с тем, чтобы обеспечить большую величину угла выброса (α) факела частиц основной культуры. С ростом угла α приращение угла выброса (β) примесных частиц снижается, поэтому массовая доля примеси в выводном лотке с увеличением $\gamma_п$ уменьшается. Представленный выше характер протекания процесса вытекает из принципа действия цилиндрических триеров, когда частицы соразмерные с ячеями и меньшие поднимаются на больший угол α, а длинные (примесные частицы) – на меньший. Однако, конкретные

соотношения конструктивно-режимных параметров и результативные показатели зависят и от других важнейших факторов ($m_н$, t, $З_и$, $З_р$), таблица 2.

В опытах № 1-3 (таблица 2) при $\gamma_п$ = 40° долевое количество примесного компонента в диапазоне – t = 30-60 с, выделенное в выводной лоток, возрастает в 2-3 раза при всех значениях $З_и$. В последующие 30 с (t = 60-90 с) оно увеличивается ровно в 2 раза при n = 35 об/мин и $\gamma_п$ = 40°. Затем приращение выделенной доли примеси падает из-за нарушения сплошности циркулирующего сегмента и роста динамического воздействия свободных ячей на примесные частицы.

Таблица 2 – Динамика выделения нарастающим итогом примесного компонента $m_{овс}$, г (%) в выводной лоток при $m_н$ = 7,7 кг и $З_р$ = 20 мм

№ п/п	Скорость и исходная засоренность	Положение кромки лотка ($\gamma_п$, град)	Продолжительность опыта (t), с				
			30	60	90	120	150
1	n = 35 об/мин $З_и$ = 1%	20	3,45 (0,045)	6,08 (0,08)	8,64 (0,11)	10,92 (0,14)	12,86 (0,17)
		30	1,62 (0,021)	3,60 (0,047)	6,03 (0,078)	8,18 (0,106)	9,95 (0,13)
		40	0,94 (0,012)	1,81 (0,0235)	3,71 (0,048)	5,70 (0,074)	7,47 (0,097)
2	n = 35 об/мин $З_и$ = 2%	20	7,97 (0,055)	14,39 (0,10)	19,32 (0,134)	24,15 (0,168)	29,42 (0,204)
		30	3,19 (0,022)	7,98 (0,055)	14,27 (0,10)	19,62 (0,136)	25,47 (0,177)
		40	1,7 (0,012)	4,7 (0,033)	9,54 (0,066)	13,51 (0,094)	17,59 (0,122)
3	n = 35 об/мин $З_и$ = 3%	20	10,1 (0,044)	18,9 (0,082)	26,2 (0,113)	33,8 (0,146)	41,0 (0,177)
		30	4,03 (0,0174)	11,55 (0,05)	18,23 (0,079)	25,93 (0,112)	35,3 (0,153)
		40	1,98 (0,009)	6,40 (0,028)	13,02 (0,056)	20,52 (0,089)	27,78 (0,120)
4*	n = 40 об/мин $З_и$ = 3%	40 ($З_р$ = 20)	3,91 (0,017)	9,73 (0,042)	15,29 (0,066)	20,18 (0,087)	25,66 (0,111)
		40 ($З_р$ = 15)	3,56 (0,016)	8,91 (0,39)	13,96 (0,060)	19,07 (0,083)	24,38 (0,106)
		40 ($З_р$ = 10)	3,33 (0,0144)	8,47 (0,037)	13,88 (0,060)	19,43 (0,084)	24,44 (0,106)

С ростом n от 35 об/мин до 40 об/мин за первые 30 с удваивается выделенная доля примеси при максимальных настройке ($\gamma_п$ = 40°) и исходной засоренности ($З_и$ = 3%) из-за усиления эффекта инерционного удержания частиц примеси в контактирующем слое. Затем указанное соотношение понижается до 1,5, а в диапазоне t = 120-150 с соотношение становится <1. Причина та же – усиление динамического воздействия свободных ячей на примесные частицы в слое с разрушенной сплошностью.

В опытах № 4* при n = 40 об/мин и $З_и$ = 3% снижение радиального зазора ($З_р$) с 20 мм до 15 мм приводит к снижению выделенной доли примеси в выводной лоток на 5-10% во всем диапазоне t. Дальнейшее снижение $З_р$ не подтверждает выше указанный эффект – сначала выделенная доля снижается (до момента t = 90 с), а затем несколько возрастает.

Нужно отметить, что при равных массовых долях примесного компонента, выделенного в выводной лоток до момента времени t, величина остаточной засоренности зерна пропорциональна

исходной засоренности зерносмеси ($З_и$). Например, до момента t = 60 с в опытах при n = 35 об/мин, $\gamma_п$ = 20° и разных величинах $З_и$ ($З_и$ = 1% и $З_и$ = 3%) выделенные массовые доли примеси примерно равны (0,08% и 0,082%), а остаточная засоренность зерна составила соответственно 0,08% и 0,25%.

Выводы.

1. При использовании для изучения ячеистых поверхностей циклических стендов с интервальным (по времени) контролем выделенных масс зерновок основной культуры из зерносмеси воспроизводятся реальные процессы движения и разделения исходного зернового сегмента зерносмеси по длине триерного цилиндра и обеспечивает объективность: оценок интенсивности выделения зерна по длине ячеистого цилиндра ($L_ц$) с необходимой детализацией; оценок степени заполнения ячей зерновками в произвольно выбранном участке $L_ц$; оценок физических эффектов динамического «выедания» зерновок из ячей и инерционного удержания пристенного слоя во взаимосвязи.

2. Возможности снижения технологических потерь связаны со снижением динамического воздействия стенок ячей на зерновки основной культуры в конце ячеистого цилиндра, где нарушена сплошность циркулирующего сегмента.

Список источников

1. Летошнев М.Н. Теория триера // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Л. – 1948. – Вып. IV. – С. 3-58.

2. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.

3. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

4. Кубышев В.А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна: автореферат дис. … доктора техн. наук: 05.20.01. – 1968. – 51 с.

5. Ивлиева Н.М. Кинематика движения материальной точки во вращающемся цилиндре с горизонтальной осью. О сущности работы триера (при очистке семя от длинных примесей) / Труды ЧИМЭСК. – Челябинск, 1958. – Вып. 6.

6. Ивлиева Н.М. О сущности процесса работы триера (при очистке семян от длинных примесей) // Труды ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып.6.

7. Терсков Г.Д. Основные закономерности процесса прохождения семян в отверстия решет в ячеек триеров // Труды ЧИМЭСХа. – 1969. – Вып. 36.

8. Павловский, Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах / Г.Т. Павловский // Сборник научных трудов ВИМ. –1952. – Т.17.

9. Павловский Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореферат дис. … доктора с/х наук: 538 / Г.Т. Павловский. – Растениеводство – Москва, 1969. – 69 с.

10. Урханов Н.А. Возможности улучшения процесса разделения семян в цилиндрических триерах // Механизация с/х производства / Материалы II научной конференции молодых ученых Московской обл. – М., 1969. – С. 56-61.

11. Урханов Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 319 с

12. Бурков А.И. Оптимизация частоты вращения триерных цилиндров с полимерной ячеистой поверхностью // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С. 49-51.

13. Бурков А.И. Модернизация цилиндрических триеров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 1. – С. 15-16.

14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 27-35.

15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20-27.

References

1. Letoshnev M.N. Trier theory // Collection of scientific and technical works of the Leningrad Institute of Agricultural Mechanization. – L. – 1948. – Issue. IV. – P. 3-58.

2. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.

3. Lurie A.B. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1997. – 526 p.

4. Kubyshev V.A. Technological basis for intensifying the grain separation process: abstract of dissertation. ... Doctor of Engineering Sciences: 05.20.01. – 1968. – 51 p.

5. Ivlieva N.M. Kinematics of the motion of a material point in a rotating cylinder with a horizontal axis. On the essence of the work of the trier (when cleaning the seed from long impurities) / Proceedings of CHIMESK. – Chelyabinsk, 1958. – Issue. 6.

6. Ivlieva N.M. On the essence of the trier operation process (when cleaning seeds from long impurities) // Proceedings of ChIMESKh. – 1958. – Issue 6.

7. Terskov G.D. Basic patterns of the process of passing seeds into the holes of the sieves in the cells of trieres // Proceedings of ChimesKh. – 1969. – Issue. 36.

8. Pavlovsky, G.T. Research of the technological process in cylindrical triremes / G.T. Pavlovsky // Collection of scientific works of VIM. –1952. – T.17.

9. Pavlovsky G.T. Basic issues of technology for cleaning grain seeds: abstract of dissertation. ... Doctor of Agricultural Sciences: 538 / G.T. Pavlovsky. – Plant growing – Moscow, 1969. – 69 p.

10. Urkhanov N.A. Possibilities for improving the process of seed separation in cylindrical triremes // Mechanization of agricultural production / Materials of the II scientific conference of young scientists of the Moscow region. – M., 1969. – P. 56-61.

11. Urkhanov N.A. Intensification of post-harvest processing and purification of grain from impurities along the length - Ulan-Ude: Publishing House of VSGTU, 1999. 319 pp.

12. Burkov A.I. Optimization of the rotation speed of trier cylinders with a polymer cellular surface // Technology in agriculture. – 2008. – No. 4. – P. 49-51.

13. Burkov A.I. Modernization of cylindrical triers // Tractors and agricultural machines. – 2007. – No. 1. – P. 15-16.

14. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analysis of trier performance indicators based on the results of bench studies // Science in Central Russia. – 2018. – No. 1 (31). – P. 27-35.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Justification of the method for identifying the performance of triers based on the results of bench studies // Science in Central Russia. – 2018. – No. 1 (31). – pp. 20-27.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; А.В. Анашкин - доктор технических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 17.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 73.31.41
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-26-35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Дмитрий Владимирович Доровских [1]***, Анатолий Александрович Лавренченко*** [2]
[1,2] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1] dima.dorovskikh@yandex.ru, [2] anatoliy_658@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Владимирович Доровских, dima.dorovskikh@yandex.ru
Corresponding author: Dmitry Dorovskikh, dima.dorovskikh@yandex.ru

Реферат. *Возникновение отклонений в работе системы питания, связанное с закоксовыванием топливоподающих форсунок, возможно при длительной эксплуатации автомобилей. Чаще всего, такая неисправность возникает, когда автомобиль дополнительно оснащен системой питания сжиженным (LPG) или сжатым (CNG) газом. В этом случае штатные форсунки, отвечающие за подачу бензина, работают непродолжительное время и не могут самоочищаться во время эксплуатации. Проведен анализ конструктивных особенностей бензиновых форсунок, влияющих на количество и форму топливных струй. Основные механизмы возникновения засорения и закоксовывания бензиновых форсунок, а также их влияние на работу двигателей с искровым зажиганием, рассмотрены. Обзор методов тестирования и восстановления рабочего состояния бензиновых форсунок представлен, результаты тестирования 12 комплектов форсунок до очистки и после приведены. Анализ полученных результатов показывает, что до очистки в 42% случаев одна форсунка имела большое отклонение; в 25% случаев две форсунки имели большое отклонение; в 17% случаев 4 форсунки находились за пределами медианного значения; в 17% случаев форсунки находились в пределах нормы. После очистки 75% форсунок находились в пределах нормы; в остальных случаях, хотя и выходящих за пределы нормы, наблюдалось улучшение параметров, за исключением одного случая, когда наблюдалось небольшое ухудшение. В большинстве случаев, ультразвуковая очистка позволяет восстановить работоспособное состояние форсунок, однако в единичных случаях, возможна заметная разница в расходе форсунок, подразумевающая дальнейшую их выбраковку и замену.*

Ключевые слова: *бензиновые форсунки, засорение, тестирование, разница в расходе топлива.*

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ULTRASONIC CLEANING ON THE PERFORMANCE OF ELECTROMAGNETIC INJECTORS OF GASOLINE ENGINES

Dmitriy Dorovskikh [1]***, Anatolij Lavrenchenko*** [2]
[1,2] *Tambov state technical university, Tambov, Russia*
[1] dima.dorovskikh@yandex.ru, [2] anatoliy_658@mail.ru

Abstract. *The occurrence of deviations in the operation of the power system associated with coking of the fuel injectors is possible during long-term operation of vehicles. Most often, such a malfunction occurs when the car is additionally equipped with a liquefied gas (LPG) or compressed gas (CNG) power system. In this case, the standard injectors responsible for supplying gasoline operate for a short time and cannot self-clean during operation. An analysis of the design features of gasoline injectors affecting the number and shape of fuel jets was carried out. The main mechanisms of clogging and coking of gasoline injectors, as well as their impact on the operation of spark-ignition engines, are considered. A review of methods for testing and restoring the operating condition of gasoline injectors is presented, the results of testing 12 sets of injectors before and after cleaning are given. Analysis of the results shows*

that before cleaning, in 42% of cases one nozzle had a large deviation; in 25% of cases, two nozzles had a large deviation; in 17% of cases, 4 injectors were outside the median value; in 17% of cases the injectors were within normal limits. After cleaning, 75% of the injectors were within normal limits; in the remaining cases, although outside the normal range, an improvement in parameters was observed, with the exception of one case where a slight deterioration was observed. In most cases, ultrasonic cleaning allows the injectors to be restored to working condition, however, in isolated cases, a noticeable difference in the injector consumption is possible, implying their further rejection and replacement.

Keywords: *gasoline injectors, fouling, testing, difference in fuel flow.*

Для цитирования: Доровских Д.В., Лавренченко А.А. Исследование влияния ультразвуковой очистки на показатели работы электромагнитных форсунок бензиновых двигателей // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 26-35. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-26-35.

For citation: Dorovskikh D., Lavrenchenko A. Investigation of the effect of ultrasonic cleaning on the performance of electromagnetic injectors of gasoline engines. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 26-35. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-26-35.

Введение. Бензиновые двигатели с коллекторным впрыском топлива по сравнению с дизельными двигателями имеют преимущество по выбросам токсичных компонентов в выхлопных газах, таких как NOx и твердые частицы, но не по выбросам углекислого газа из-за более низкого КПД и, соответственно, более высокого расхода топлива [1]. Большая часть автопарка, особенно старых автомобилей, оборудована дополнительной газовой топливной системой на метане или пропан-бутане, и в этом есть свои экологические преимущества. Этот положительный эффект может быть снижен при длительной эксплуатации и некачественном обслуживании топливных систем [2]. Что касается элемента, отвечающего за непосредственную подачу топлива - форсунки, то наиболее частыми проблемами системы впрыска бензина является частичная закоксовка отдельных форсунок, что приводит к разной подаче топлива в отдельные цилиндры, то есть разной цикловой подаче топлива [3], [4]. Это может привести к ухудшению рабочего процесса в отдельных цилиндрах, повышенному расходу топлива, влиянию на вредные выбросы, в нагруженных двигателях к повреждениям в цилиндро-поршневой группе, из-за работы на бедных смесях в одном или нескольких цилиндрах.

Материалы и методы.

Конструкция форсунок.

Электромагнитные форсунки служат для дозирования топлива и обеспечения необходимого качества смесеобразования. По сути, они представляют собой быстродействующий нормально закрытый гидравлический клапан, который открывается под действием электромагнита и закрывается под действием пружины (Рисунок 1) [5].

На рисунке 1а показана конструкция одного из наиболее распространенных современных типов электромагнитных форсунок [6]. Игла 6 на нижнем конце заканчивается уплотнительным сферическим элементом. При отсутствии напряжения на катушке форсунки игла прижимается к седлу силой пружины (и давлением топлива). Седло имеет форму конуса с центральным отверстием. При подаче напряжения, под действием электромагнитного поля, уплотнительный сферический элемент поднимается с посадочного места и происходит подача топлива. При прерывании тока возбуждения, игла клапана под действием силы пружины вновь перемещается к седлу, прекращая подачу топлива. В конструкции данного типа, подача топлива и формирование топливной струи осуществляется с помощью направляющего распылителя, расположенного под седлом. Распылитель может быть с одним или несколькими отверстиями (чаще всего 1, 2 и 4; в отдельных случаях до 12), которые могут располагаться вертикально или под углом. Количество впрыскиваемого топлива в единицу времени в основном определяется геометрией зоны впрыска топлива (диаметром и количеством отверстий в распылителе), давлением топлива и противодавлением во впускном коллекторе. Герметичность форсунки в районе седла обеспечивается за счет принципа конусно-сферического уплотнения.

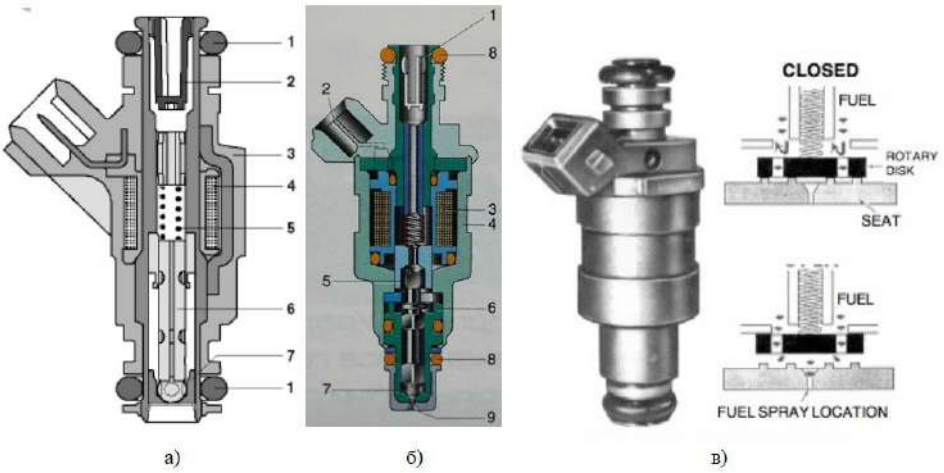


Рисунок 1 - Электромагнитные форсунки:
1а) 1 - уплотнительное кольцо, 2 – фильтр, 3 – корпус, 4 – электромагнитная катушка, 5 – пружина, 6 – игла, 7 – седло клапана и распыливающая пластина с отверстиями;
1б) 1 – фильтр, 2 - электрический разъем, 3 - электромагнитная катушка, 4 – корпус, 5 – сердечник, 6-корпус клапана, 7 - игла клапана, 8 – уплотнительное кольцо, 9 – распылительное отверстие

Кроме упомянутого выше типа, широко распространенной, особенно для старых автомобилей, является конструкция, в которой на переднем конце иглы образован специальный штифт для распыливания топлива - (Рисунок 1б). Уплотнительная поверхность клапана имеет коническую форму, а участок, где распыляется топливо, имеет кольцевую форму и образован между штифтом иглы клапана и центральным отверстием в седле.

В третьей распространенной конструкции, (Рисунок 1в) подвижный и уплотняющий элемент представляет собой диск, по которому топливо поступает через отверстие в направляющей пластине. Герметичность обеспечивается уплотнением диска к кольцу. Поскольку отверстие расположено сравнительно высоко, эти форсунки менее чувствительны к загрязнению и за счет небольшой массы диска обладают высоким быстродействием.

На смесеобразование влияет формирование топливной струи, то есть ее форма, угол направления и размер капель топлива в ней. Чтобы добиться хорошего распыления топлива в сочетании с малыми потерями на конденсацию и избежать образования пленочного слоя топлива, необходимо исключить попадание распыленного топлива на стенки впускного коллектора. Это означает, что для конкретного двигателя, на рассчитанном расстоянии от впускного клапана до форсунки, необходимо использовать форсунку с определенным углом струи.

На рисунке 2 показаны наиболее распространенные формы топливной струи [6].

Одиночная концентрированная струя (Рисунок 2а) – тонкая концентрированная и пульсирующая струя, в значительной степени позволяющая избежать попадания части распыленного топлива на стенки впускного коллектора. Такая форма струи подходит там, где между распылителем форсунки и впускным клапаном имеется большое расстояние. По современным представлениям, данный тип струи не рекомендуется из-за низкой степени распыления топлива и повышенного содержания углеводородов в выхлопных газах. Угол α80 – это угол, на который приходится 80% массы впрыскиваемого топлива.

Коническая струя (Рисунок 2.б) – формируется, когда через отверстия впрыска поступает одна или несколько отдельных струй топлива, при их перекрытии образуется конус. Типичная область применения конусно-струйных форсунок – двигатели с одним впускным клапаном на цилиндр. В некоторых случаях, они могут находить применение и в двигателях с двумя впускными клапанами на цилиндр.

Двойная струя (Рисунок 2.с) – такие форсунки используются в двигателях с двумя или тремя впускными клапанами на цилиндр. Отверстия для впрыска топлива в распылительной пластине

расположены таким образом, что образуются две топливные струи, которые, в свою очередь, могут состоять из нескольких отдельных струй. На угол α50 приходится 50% массы впрыскиваемого топлива и представляет собой угол расхождения двух струй. Угол β — это такой угол, на который приходится 70% массы единичной струи.

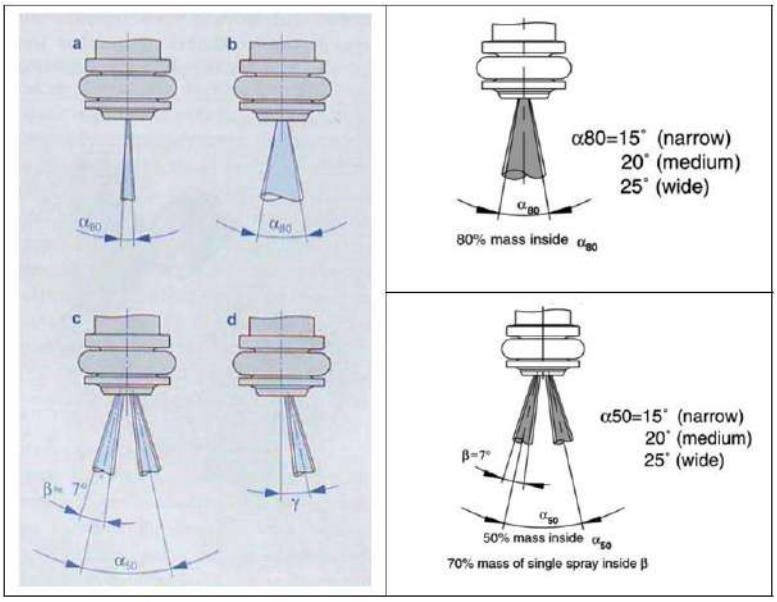


Рисунок 2 – Форма топливных струй

Топливная струя, в некоторых случаях, может отклоняться от оси форсунки на определенный угол γ с целью получения правильного состава горючей смеси.

Заданные параметры топливных струй получены на специальных лабораторных установках по стандартам SAE J1832 и SAE J2715.

Основная проблема при длительной эксплуатации – загрязнение и частичное засорение распылителя форсунки.

Механизм изменения характеристик топливных форсунок.

Существует несколько механизмов изменения характеристик форсунок. Первый связан с постепенным увеличением отверстий, вследствие естественного износа от проходящего топлива, что приводит к увеличению цикловой подачи. Это происходит при длительной эксплуатации и связано с эрозионным износом отверстий, через которые впрыскивается топливо. Износ отверстий распылителя приводит к изменению формы конуса распыла и практически не влияет на угол выхода топливной струи.

Другой основной механизм связан с уменьшением проходного сечения отверстий распылителя. Он выражается в постепенном накоплении отложений в области распылителя [7,8,9].

При отключении импульсов, подаваемых на форсунку, на ее передней части образуется капля бензина, а также могут налипать пары масла из вентиляции картера. Под действием повышенной температуры легкие фракции топлива испаряются, а алкены и другие тяжелые фракции углеводородов накапливаются в виде отложений, которые уменьшают площадь поперечного сечения калиброванного отверстия. Этот процесс сильно зависит от температуры, а также от состава и чистоты используемого топлива.

Алкены, называемые также олефинами, - это ненасыщенные углеводороды, высшие из которых представляют собой твердые воскообразные бесцветные вещества. Они являются одним из основных компонентов топлива (до 10%). Они могут вызывать образование отложений на впускных клапанах и передней части форсунок. Топливо с высоким содержанием алкенов требует дополнительных химических присадок для предотвращения образования отложений.

Бензин является хорошим растворителем, и при следующем запуске форсунок большая часть загрязнений смывается, но не большая часть может оставаться. Многократное повторение

вышеописанного процесса приводит к постепенному накоплению частиц нагара и уменьшению проходного сечения. Отложения могут постепенно покрывать всю периферию отверстия или частично только определенную область и постепенно увеличиваться, что в таком случае может привести к изменению формы и направления струи топлива.

Двигатели с непосредственным впрыском очень чувствительны к изменению формы струи и качества распыла, так как требуется, чтобы струя попадала в четко определенную область камеры сгорания, где должен быть достигнут локальный коэффициент избытка воздуха $\alpha \approx 1$.

Двигатели с впрыском во впускной коллектор, в основном чувствительны к уменьшению цикловой подачи топлива. При ухудшении качества впрыска, ухудшаются переходные характеристики двигателя и увеличивается содержание углеводородов в отработавших газах.

Уменьшение предельного проходного сечения на 8…10% в одной форсунке может привести к обеднению смеси и на некоторых режимах к пропускам воспламенения. В этом случае, в систему выпуска отработавших газов попадает несгоревший кислород, и датчик кислорода передает в электронный блок управления (ЭБУ) информацию о обедненной смеси. ЭБУ компенсирует это увеличением времени открытия на всех форсунках, что приводит к образованию богатой смеси в остальных цилиндрах и, соответственно, к увеличению расхода топлива и изменению токсичности отработавших газов.

Проверка и восстановление работоспособности форсунок.

Проверка работоспособности форсунок обычно проводится на стендах (Рисунок 3), имеющих возможность измерения расхода, качества распыла и герметичности - после прекращения подачи импульсов на форсунку не должно быть утечки топлива.

Для проверки расхода форсунок из-за взрывоопасности бензина не используют бензин, а применяют жидкости с аналогичными свойствами по вязкости и плотности. Допустимое отклонение от заданного расхода для новых форсунок, в большинстве случаев, составляет ±2%. Технические характеристики статического расхода форсунок обычно указываются при испытаниях с использованием n-гептана (Bosch, Siemens), при температуре 20°C, давлении 3,0 бар, напряжении 13,5 или 14 В постоянного тока. Другой, часто используемой испытательной жидкостью, особенно в условиях станций технического обслуживания (СТО), является уайт-спирит. Следует отметить, что из-за разной плотности тестовых жидкостей, измеренный расход будет разным, причем разница между n-гептаном и бензином составляет порядка 3÷4%, так как бензин имеет более высокую скорость истечения.

Рисунок 3 - стенд ASNU
a) общий вид, b) окно контроля качества распыления c) мерные цилиндры для контроля расхода

Измерение расхода с наименьшей погрешностью относительно заданных значений в условиях СТО трудоемко, так как расход очень чувствителен к свойствам тестовой жидкости - вязкости, плотности и температуре. Обычно, во время испытаний, температура тестовой жидкости значительно повышается, поэтому для поддержания ее значений в заданных пределах, тестовую жидкость необходимо охлаждать с помощью теплообменника. Большинство стендов не имеют такой возможности.

Следует иметь в виду, что в эксплуатации важно следить не столько за отклонением расхода от заводских данных, сколько за разницей в работе отдельных форсунок, так как система управления двигателем работает с обратной связью и при равномерном изменении расхода всех форсунок может самоадаптироваться на определенный процент.

Существует несколько методов очистки форсунок. Первый метод предполагает очистку с помощью сильных химических растворителей, добавляемых в топливо в баке. Достоинствами этого метода являются: простота применения, низкая стоимость, отсутствие необходимости демонтажа форсунок, наличие на рынке большого разнообразия коммерческих присадок. Недостатки связаны с возможностью растворения выпавших в осадок смолистых продуктов из бака и их постепенного осаждения на распылителе форсунки; невозможностью оценить, все ли форсунки восстановили свое рабочее состояние. Помимо закоксовывания, которое является наиболее распространенной неисправностью, форсунки могут иметь и другие проблемы, такие как электрические неисправности, заедание якоря, внешние утечки, частичное засорение фильтров механическими примесями, пружины с пониженной жесткостью и другие.

Следующий способ - очистка с использованием химических растворителей, заменяющих основное топливо и подаваемых непосредственно в систему питания двигателя. В этом случае используется установка для очистки системы питания с собственной системой циркуляции, которая подключается к входу и выходу топливной рейки, и двигатель работает только на жидкости из установки в течение 30 минут. Преимуществами являются более быстрый результат, по сравнению с предыдущим методом и возможность очистки верхней части тарелок впускных клапанов. Недостатки - невозможность оценить состояние после очистки; более высокая стоимость; существует риск повреждения некоторых компонентов системы питания из-за высокой концентрации агрессивных химических веществ; выделение вредных компонентов в процессе проведения процедуры очистки.

Третий способ - очистка в ультразвуковой ванне. Ультразвуковая ванна для очистки форсунок представляет собой емкость, на внешней стороне дна которой закреплены один или два пьезоэлектрических излучателя ультразвуковых волн с частотой 20 кГц или 40 кГц. Волны передаются от корпуса к жидкости в ванне и вызывают колебания с высокой частотой - 20 000 раз в секунду. Во время очистки на форсунку также подаются электрические импульсы, и за счет движения иглы часть жидкости поднимается вверх во внутренний канал форсунки, т.е. происходит обратный поток. Очистка основана в основном на явлении кавитации, а не столько на моющих свойствах используемого моющего средства, которое обычно имеет водную основу и является биоразлагаемым.

Кавитация - это явление, при котором в жидкости образуются паровые пузырьки в результате локального перепада давления или при прохождении интенсивной акустической волны. Когда образовавшийся пузырек попадает в область жидкости с повышенным давлением, пар конденсируется, образуется вакуум, и окружающая жидкость с большой скоростью устремляется к центру, где встречающиеся частицы вызывают микрогидравлический удар, сопровождающийся локальным давлением очень высокой величины. Таким образом, достигается эффект микроочистки и удаления поверхностных загрязнений.

Достоинствами метода ультразвуковой очистки являются: высокая степень очистки; возможность последующей проверки в различных режимах основных характеристик форсунок - изменение расхода между отдельными форсунками, качество распыления, герметичность; в случае необходимости некоторые их детали могут быть заменены на новые - например, нижние уплотнительные кольца; фильтры форсунок; защитные теплоизоляционные колпачки (Рисунок 1б). Недостатками данного метода являются его относительная дороговизна, трудоемкость и необходимость снятия форсунок с двигателя.

Результаты и обсуждение.

Для исследований были взяты бензиновые форсунки автомобилей, оснащенных газовой системой, у которых возникла проблема с работой двигателя на бензине. Исследования проводились на стенде ASNU Classic GDI (Рисунок 3). Стенд позволяет проверять расход, качество распыла и герметичность, очищать форсунки с помощью встроенной ультразвуковой ванны [10]. Рабочее давление регулируется в диапазоне 1…8 бар. Некоторые особенности стенда:

- может использоваться для всех типов форсунок систем с впрыском во впускной коллектор и непосредственным впрыском (без пьезоэлектрических форсунок);
- реализованы режимы статического и динамического испытания;
- реализованы 18 различных режимов для установки длительности впрыска и оборотов;
- есть функция тестирования индуктивности обмоток форсунок;
- USB-подключение к ПК для установки длительности и тока импульса.

Типичная проверка начинается со снятия форсунок с двигателя, внешней очистки от пыли и грязи и установки на стенд. В первую очередь проверяется герметичность. Для этого насос запускается на 120 секунд, в течение которых форсунки тщательно осматриваются на предмет утечек. По данным некоторых производителей, допускается образование капли, которая не должна капать в течение 30 или 60 секунд, и эти значения обычно указываются в специализированных диагностических программах, например Bosch ESI[tronic].

Следующей проверкой является проверка качества распыла топлива (Рисунок 3б). Здесь форсунки устанавливаются в верхней части стенда и визуально определяется качество распыла, сами форсунки крепятся на стойке на уплотнительных кольцах и есть возможность поворачивать их по отдельности для лучшего наблюдения за струей топлива.

Третья и самая важная проверка - проверка объемного расхода форсунок. Допустимое отклонение расхода между отдельными форсунками составляет ±2% для новых форсунок. Здесь возможны два вида проверки - статическая и динамическая. Статические испытания проводятся при 100%-ном импульсном заполнении, т.е. форсунка непрерывно впрыскивает топливо в течение предварительно заданного периода времени - обычно 30 или 60 секунд. Статический тест служит для сравнения сечения отверстий отдельных форсунок, при этом любые электрические неисправности в подъеме иглы форсунки игнорируются. При динамической проверке выбирается один из 16 предустановленных режимов. В проведенных испытаниях использовался режим 6, при котором длительность импульса составляла 6 мс при частоте 2500 мин$^{-1}$.

Таблица 1 - Результаты измерений расхода форсунок

№	Марка автомобиля	Режим	Δ расход до очистки, [%]				Δ расход после очистки, [%]			
			1 ф.	2 ф.	3 ф.	4 ф.	1 ф.	2 ф.	3 ф.	4 ф.
1	Honda Accord 2.0, 2005г.	Стат. 100% откр.	0.5%	-4.5%	-0.5%	0.5%	0.5%	-0.5%	-0.5%	0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.5%	-4.6%	-0.5%	1.5%	0.0%	-2.0%	0.0%	0.0%
2	BMW 318 e46 1.9, 1998г.	Стат. 100% откр.	1.0%	-2.0%	-1.0%	1.0%	0.0%	-1.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-0.5%	-1.5%	0.5%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
3	VW Golf 1.8, 1997г.	Стат. 100% откр.	-2.1%	-3.1%	3.1%	2.1%	-0.5%	-2.5%	0.5%	0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-3.1%	-6.2%	3.1%	3.1%	-1.5%	-3.6%	1.5%	1.5%
4	Toyota Avensis T25 1.8, 2007г.	Стат. 100% откр.	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.0%	-1.5%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
5	Toyota Avensis T22, 1.8, 2003г.	Стат. 100% откр.	-0.3%	-2.3%	0.8%	0.3%	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.0%	-5.1%	-1.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
6	Subaru Outback EJ20 2.0, 2005г.	Стат. 100% откр.	-5.6%	-0.5%	0.5%	1.5%	-1.5%	0.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-4.7%	-2.6%	3.6%	2.6%	-1.3%	-0.3%	0.8%	0.3%
7	Renault 21 2.0i, 1991г.	Стат. 100% откр.	0.0%	3.8%	0.0%	-3.8%	-0.5%	5.3%	0.5%	-2.4%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.0%	4.9%	-1.0%	-2.9%	0.0%	5.4%	0.0%	0.0%
8	Opel Astra F 1.4i, 1992г.	Стат. 100% откр.	0.8%	-0.3%	-4.0%	0.3%	1.6%	0.5%	-1.6%	-0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.6%	0.0%	-6.5%	0.0%	1.1%	0.0%	-2.1%	0.0%

9	Peugeot 106 KWF 1.4i, 2001г.	Стат. 100% откр.	-34.5%	0.0%	-6.9%	0.0%	-9.3%	0.0%	-4.7%	1.2%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-27.3%	0.0%	-6.1%	1.5%	-8.3%	0.0%	-4.6%	1.5%
10	Opel Astra G 2.2i, 2001г.	Стат. 100% откр.	4.3%	-0.9%	-0.9%	0.9%	0.8%	-0.8%	-1.7%	0.8%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.4%	0.0%	-0.9%	0.0%	0.0%	-0.4%	0.0%	0.0%
11	BMW 318 e46 1.9, 1999г.	Стат. 100% откр.	-0.6%	0.6%	1.2%	-1.2%	-0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-1.2%	1.2%	2.9%	-1.2%	-0.6%	0.6%	1.2%	-0.6%
12	Mercedes C180 (W203), 1.8i, 2004г.	Стат. 100% откр.	1.6%	-1.6%	2.6%	-2.1%	1.6%	-1.6%	0.5%	-0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.8%	-0.8%	3.4%	-3.9%	1.5%	-2.0%	1.5%	-1.5%

В таблице 1 приведены результаты измерений расхода форсунок 12 автомобилей у которых была дополнительно установлена в сертифицированной мастерской система питания сжиженным газом, которая, по мнению водителей, привела к ухудшению характеристик работы двигателя на бензине. Для упрощения интерпретации результатов, расход представлен в виде разницы с медианным значением.

Из анализа результатов, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что до очистки в 42% случаев одна форсунка имела большое отклонение; в 25% случаев две форсунки имели большое отклонение; в 17% случаев 4 форсунки находились за пределами медианного значения; в 17% случаев форсунки находились в пределах нормы. После очистки 75% форсунок находились в пределах нормы; в остальных случаях, хотя и выходящих за пределы нормы, наблюдалось улучшение параметров, за исключением одного случая, когда наблюдалось небольшое ухудшение параметров.

Выводы. В статье сделан обзор методов тестирования и восстановления работоспособного состояния форсунок, механизма ухудшения характеристик впрыска и представлены результаты испытаний 12 автомобилей. Основные выводы:

1. Наиболее распространенным случаем является тот, когда одна из форсунок имеет значительную разницу в расходе по сравнению с другими; за ним следует случай, когда две форсунки имеют большое отклонение;

2. В большинстве случаев, ультразвуковая очистка позволяет восстановить работоспособное состояние форсунок;

3. После очистки, настоятельно рекомендуется проверить форсунки, так как в небольшом проценте случаев, несмотря на некоторое улучшение, их параметры могут выходить за рамки допустимого отклонения. В единичных случаях, возможна заметная разница в расходе форсунок, подразумевающая дальнейшую их выбраковку и замену.

Список источников

1. Залознов, И. П. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей за счет обоснования периодичности обслуживания электромагнитных форсунок : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Залознов Иван Павлович. – Омск, 2003. – 115 с. – EDN NMOSZH.

2. Система питания автомобильных и тракторных газовых двигателей : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", "Агроинженерия" / А. А. Лавренченко, С. М. Ведищев, А. В. Милованов [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2021. – 151 с. – ISBN 978-5-8265-2443-5. – EDN GCGVJA.

3. Залознов, И. П. Физико-химическая сущность процессов смолообразования в топливной системе бензиновых двигателей с впрыском / И. П. Залознов, Н. Г. Певнев // Современные проблемы транспортного строительства, автомобилизации и высокоинтеллектуальные научно-педагогические технологии : Тезисы докладов на Международной научной конференции,

посвященной 70-летию СибАДИ, Омск, 20–24 сентября 2000 года. Том I. – Омск: Сибади, 2000. – С. 59-60. – EDN YXJPRR.

4. Доровских, Д. В. Характер загрязнений распылителей форсунок, условия и механизм их образования / Д. В. Доровских, Е. А. Андреева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : Материалы 3-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 27 июня 2016 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2016. – С. 245-247. – EDN XXCOWP.

5. Ерохов, В. И. Системы впрыска бензиновых двигателей: конструкция, расчет, диагностика / В. И. Ерохов. – Москва, 2011. – 552 с. – ISBN 978-5-9912-0130-8. – EDN PZTVEZ.

6. Автомобильный справочник [Текст] / Konrad Reif и др.; Bosch. -3-е изд. - Москва: За рулем, печ. 2012. -1274 с.

7. Лисин, В. А. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей путем обоснования нормативов обслуживания двухтопливной системы питания: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лисин Виталий Александрович. – Омск, 2005. – 120 с. – EDN NNJOCN.

8. Овчинников, Г. В. Влияние загрязнения и износа элементов электромагнитных форсунок на характеристики автомобильного бензинового двигателя: специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Овчинников Григорий Викторович. – Владимир, 2009. – 144 с. – EDN NQQGQR.

9. Пантюхов, В. Д. Восстановление характеристик электромагнитных форсунок для впрыскивания бензина / В. Д. Пантюхов, И. П. Васильев // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс, Омск, 07–09 декабря 2016 года. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2016. – С. 695-700. – EDN XSRLHX.

10. ASNU CLASSIC GDI – Instruction manual, Asnu corporation Europe Ltd, 2019.

Reference

1. Zaloznov, I. P. Povyshenie effektivnosti ekspluatacii avtomobilej za schet obosnovaniya periodichnosti obsluzhivaniya elektromagnitnyh forsunok: special'nost' 05.22.10 "Ekspluataciya avtomobil'nogo transporta": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Zaloznov Ivan Pavlovich. – Omsk, 2003. – 115 s. – EDN NMOSZH.

2. Sistema pitaniya avtomobil'nyh i traktornyh gazovyh dvigatelej: Uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obuchayushchihsya po napravleniyam podgotovki "Ekspluataciya transportno-tekhnologicheskih mashin i kompleksov", "Agroinzheneriya" / A. A. Lavrenchenko, S. M. Vedishchev, A. V. Milovanov [i dr.] ; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii. Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2021. – 151 s. – ISBN 978-5-8265-2443-5. – EDN GCGVJA.

3. Zaloznov, I. P. Fiziko-himicheskaya sushchnost' processov smoloobrazovaniya v toplivnoj sisteme benzinovyh dvigatelej s vpryskom / I. P. Zaloznov, N. G. Pevnev // Sovremennye problemy transportnogo stroitel'stva, avtomobilizacii i vysokointellektual'nye nauchno-pedagogicheskie tekhnologii : Tezisy dokladov na Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu SibADI, Omsk, 20–24 sentyabrya 2000 goda. Tom I. – Omsk: Sibadi, 2000. – S. 59-60. – EDN YXJPRR.

4. Dorovskih, D. V. Harakter zagryaznenij raspylitelej forsunok, usloviya i mekhanizm ih obrazovaniya / D. V. Dorovskih, E. A. Andreeva // Ustojchivoe razvitie regiona: arhitektura, stroitel'stvo i transport : Materialy 3-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, Tambov, 27 iyunya 2016 goda. – Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2016. – S. 245-247. – EDN XXCOWP.

5. Erohov, V. I. Sistemy vpryska benzinovyh dvigatelej : konstrukciya, raschet, diagnostika / V. I. Erohov. – Moskva, 2011. – 552 s. – ISBN 978-5-9912-0130-8. – EDN PZTVEZ.

6. Avtomobil'nyj spravochnik [Tekst] / Konrad Reif i dr.; Bosch. -3-e izd. - Moskva: Za rulem, pech. 2012. -1274 s.

7. Lisin, V. A. Povyshenie effektivnosti ekspluatacii gazoballonnyh avtomobilej putem obosnovaniya normativov obsluzhivaniya dvuhtoplivnoj sistemy pitaniya: special'nost' 05.22.10 "Ekspluataciya avtomobil'nogo transporta": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Lisin Vitalij Aleksandrovich. – Omsk, 2005. – 120 s. – EDN NNJOCN.

8. Ovchinnikov, G. V. Vliyanie zagryazneniya i iznosa elementov elektromagnitnyh forsunok na harakteristiki avtomobil'nogo benzinovogo dvigatelya: special'nost' 05.04.02 "Teplovye dvigateli" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Ovchinnikov Grigorij Viktorovich. – Vladimir, 2009. – 144 s. – EDN NQQGQR.

9. Pantyuhov, V. D. Vosstanovlenie harakteristik elektromagnitnyh forsunok dlya vpryskivaniya benzina / V. D. Pantyuhov, I. P. Vasil'ev // Arhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, novacii: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: Elektronnyj resurs, Omsk, 07–09 dekabrya 2016 goda. – Omsk: Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya (SibADI), 2016. – S. 695-700. – EDN XSRLHX.

10. ASNU CLASSIC GDI – Instruction manual, Asnu corporation Europe Ltd, 2019.

Информация об авторах

Д.В. Доровских - кандидат технических наук, доцент; А. А. Лавренченко - кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

D. Dorovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Lavrenchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.372/621.355.9
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-36-45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ГЕЛЕВОГО ТИПА

Отари Назирович Дидманидзе [1]***, Роман Сергеевич Федоткин*** [2]***,***
Виталий Алексеевич Крючков [3]***, Татьяна Валерьевна Меркелова*** [4]
[1,2,3,4] *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*
[1] didmanidze@rgau-msha.ru, [2] fedotkin@rgau-msha.ru
[3] v.kryuchkov@rgau-msha.ru, [4] tanyamerkelova@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Отари Назирович Дидманидзе, didmanidze@rgau-msha.ru
Corresponding author: Otari Didmanidze, didmanidze@rgau-msha.ru

Реферат. *Представлены результаты экспериментальной оценки функциональных характеристик тяговых аккумуляторных батарей гелевого типа (АгБт) для малогабаритных транспортно-технологических средств (ТТС), в зависимости от различных режимов нагрузки и температурных условий. Экспериментальная оценка времени автономной работы АгБт в эксплуатации и их разрядных характеристик типа при различных температурах хранения и работы. Оценка изменения уровня напряжения образца АгБт типа RuTrike 6-EVF-32 при комнатной температуре и в морозильной камере (от -7,8 до -20,2 ^{0}С) при подключенной электрической нагрузке и в режиме хранения проводилась на первом этапе. Колебание температуры задавалось случайным образом для имитации реальных условий эксплуатации ТТС в холодное время года. На втором этапе испытаний проводилась оценка времени непрерывной работы комплекта из пяти АкБг в составе малогабаритного ТТС – трицикла D4 1800. Испытания проводились в ранневесенний период на территории ФНАЦ ВИМ. Оба АкБг разрядились всего на 0,05 В за четверо суток исследований характеристик саморазряда при различных температурах. После снятия нагрузки АкБг регенерируются до напряжения 12 В (50 %-й заряд). Холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется. Трицикл может проехать 22,21 км при скорости 13,3 км/ч на одном заряде АкБг. Падение напряжения на аккумуляторах имеет практически линейную зависимость от пройденного расстояния и времени испытаний Своевременная зарядка АкБг, а также обеспечение конструкторско-технологических мер по утеплению блока АкБг рекомендуется при эксплуатации в холодное время года. Испытания с циклами движения и остановки для оценки влияния способности АкБг к самовосстановлению на увеличение продолжительности движения требуется продолжить, как и проведение тестов на длительность восстановления после включения/снятия нагрузки в зависимости от величины остаточного напряжениях хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции.*

Ключевые слова: *тяговые аккумуляторные батареи гелевого типа, автоматизированный электропривод, малогабаритное транспортно-технологическое средство, экспериментальные исследования, функциональные характеристики, саморазряд, разрядные характеристики, режим нагрузки, температурные условия.*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF GEL-TYPE TRACTION BATTERIES

Otari Didmanidze [1]***, Roman Fedotkin*** [2]***, Vitaliy Kryuchkov*** [3]***, Tatyana Merkelova*** [4]
[1,2,3,4] *Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
[1] didmanidze@rgau-msha.ru, [2] fedotkin@rgau-msha.ru,

[3] v.kryuchkov@rgau-msha.ru, [4] tanyamerkelova@yandex.ru

Abstract. *The results of an experimental assessment of the functional characteristics of gel-type traction batteries (AGBT) for small-sized transport and technological vehicles (TVT), depending on various load modes and temperature conditions, are presented. Experimental assessment of the battery life of AGBT in operation and their discharge type characteristics at various storage and operating temperatures. An assessment of changes in the voltage level of an AgBT sample of type RuTrike 6-EVF-32 at room temperature and in a freezer (from -7.8 to -20.2 °C) with a connected electrical load and in storage mode was carried out at the first stage. Temperature fluctuations were set randomly to simulate real operating conditions of the TTS in the cold season. At the second stage of testing, the continuous operation time of a set of five battery packs as part of a small-sized vehicle, the D4 1800 tricycle, was assessed. The tests were carried out in the early spring on the territory of the Federal National Research Center VIM. Both batteries were discharged by only 0.05 V during four days of studying self-discharge characteristics at different temperatures. After removing the load, the batteries are regenerated to a voltage of 12 V (50% charge). A cold battery discharges faster by 2-3 hours, but when the load is removed it is regenerated faster. The tricycle can travel 22.21 km at a speed of 13.3 km/h on a single AkBg charge. The voltage drop across the batteries has an almost linear dependence on the distance traveled and the test time. Timely charging of the battery, as well as the provision of design and technological measures for insulating the battery pack, is recommended for operation in the cold season. Tests with cycles of movement and stopping to assess the influence of the battery's ability to self-recovery to increase the duration of movement needs to be continued, as well as testing for the duration of recovery after turning on/removing the load, depending on the magnitude of the residual stress.*

Keywords: *traction batteries of gel type, automated electric drivetrain, small-sized transport and technological vehicles, experimental investigation, functional characteristics, self-discharge, discharge characteristics, load mode, temperature conditions.*

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Меркелова Т.В. Экспериментальные исследования функциональных характеристик тяговых аккумуляторов гелевого типа // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 36-45. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-36-45.

For citation: Didmanidze O., Fedotkin R., Kryuchkov A., Merkelova T. Experimental investigation of functional characteristics of gel-type traction batteries. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 36-45. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-36-45.

Благодарности: работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение 075-15-2023-220).

Acknowledgments: the work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030" (agreement).

Введение. Тенденция перехода тяговых, транспортных и транспортно-технологических средств (ТТС) сельскохозяйственного назначения к комбинированным энергоустановкам и автоматизированному электроприводу обусловлена не только необходимостью снижения токсичности отработавших газов от двигателей внутреннего сгорания. Но и необходимостью комплексной автоматизации и роботизации технологических процессов для исключения ручного труда и исключения человека из зоны действия вредных производственных факторов в сельскохозяйственном производстве. [1-3].

Создание ТТС на электрической тяге, т.е. оснащенных автоматизированным электроприводом, является важнейшим технологическим шагом на пути к созданию беспилотных ТТС [3].

В качестве энергоустановки для таких ТТС наиболее перспективными являются тяговые аккумуляторные батареи, в особенности Li-ON-группы, в т.ч. литий-титанатные и графеновые аккумуляторы [4, 5]. В настоящее время по-прежнему широко распространены на малогабаритных ТТС тяговые свинцово-кислотные аккумуляторы гелевого типа [6-8].

В независимости от конструкции аккумуляторных батарей использование их в качестве основного и единственного источника энергии для тягового электропривода ТТС ограничено множеством факторов [9], наиболее сдерживающими из которых являются следующие:

- ограниченное время автономной работы – не более 4 ч, даже при реализации механизмов рекуперации мощности [10-12];
- зависимость от высоких/низких температур и их перепадов – большой саморазряд [13, 14];
- ограниченность существующей инфраструктуры для зарядки, обслуживания и ремонта ТТС с тяговым электроприводом [15].

Для преодоления указанных сдерживающих факторов необходимо проводить исследования и разработки по изучению и повышению функциональных характеристик аккумуляторных батарей различного типа. Более детальное исследование процессов, проходящих внутри батареи, и понимание их связи с проявляющимися сдерживающими факторами через различные экспериментальные исследования, позволит строить достоверные физические модели и улучшать режимы эксплуатации, повышая срок службы аккумуляторов [16, 17].

Цель исследования состоит в экспериментальной оценке функциональных характеристик тяговых аккумуляторных батарей гелевого типа (АкБг), применяемых на малогабаритных ТТС, а именно времени автономной работы в эксплуатации, а также разрядные характеристики при различных температурах хранения и работы.

Особенно интересной является проверка продолжительности удержания аккумуляторными батареями рабочего напряжения в условиях колеблющихся пониженных температуры, приближенным к условиям реальной эксплуатации.

Материалы и методы.

Экспериментальные исследования АкБг проводились в содружестве ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в два этапа [18].

На первом этапе проводилась оценка изменения уровня напряжения образца АкБг – типа RuTrike 6-EVF-32 (рисунок 1.) при комнатной температуре, а также переменной отрицательной температуре при подключенной электрической нагрузке, а также в режиме хранения.

Были рассмотрены различные методики испытания гелевых аккумуляторных батарей, часть которых опирались на требования ГОСТ [19], а отдельные отсылали к требованиям специализированных исследовательских организаций, таких как Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) [20]. Испытания проводились в лабораторных условиях с применением климатической (морозильной) камеры (рисунок. 1, б). Температура воздуха в помещении – в пределах 22-24 °С, температура в морозильной камере: от -7,8 до -20,2 °С. Колебание температуры задавалось случайным образом для имитации реальных условий эксплуатации ТТС с АкБг в холодное время года.

Рисунок 1 - Испытуемый образец АкБг типа RuTrike 6-EVF-32:
а) – общий вид АкБг; б) – испытание АкБг в морозильной камере

В качестве электрической нагрузки на АкБг использовались параллельно подключенные галогенные лампы общей мощностью 0,11 кВт.

Режимы испытаний и наблюдений – периодический контроль характеристик саморазряда/разряда по напряжению АкБг в морозильной камере и при комнатной температуре под нагрузкой/без нагрузки.

На втором этапе испытаний проводилась оценка времени непрерывной работы [22] – запаса хода по заряду комплекта из пяти АкБг типа RuTrike 6-EVF-32 в составе малогабаритного ТТС с тяговым электроприводом – типа трицикла D4 1800 (рисунок 2).

Рисунок 2 - Испытуемый образец ТТС с тяговым электроприводом типа трицикла D4 1800

Место проведения испытаний – территория ФНАЦ ВИМ (рисунок 3).

Рисунок 3 - Площадка для проведения испытаний

Испытания проводились в ранневесенний период, в условиях с переменным моросящим дождем, при температуре окружающей среды +6, °С, относительной влажности 84,74%, скорости ветра 0,2-1,6 м/с и атмосферном давлении 747 мм рт. ст. Площадка для проведения испытаний – ровное асфальтовое основание с перепадами высот не более 0,01 м и периметром 123 м.

Режим испытаний – порожнее движение ТТС, прямая передача, плавный разгон выбирается электронным способом по программы блока управления.

В соответствии с методикой пред началом испытаний при помощи мультиметра проводятся замеры напряжения на аккумуляторах по очереди на каждом и общей сборки. Одометр сбрасываться в нулевое значение. Фиксируется время начала испытаний. Оператор движется по маршруту по возможности без резких остановок и ускорений, а также с поддержанием равномерной скорости движения. По истечении 30 минут оператор останавливает трицикл в исходной точке. Фиксируются данные о времени окончания движения, осуществляется замер напряжения АкБг, осуществляется фиксация показаний одометра.

Результаты и обсуждение. При оценке саморазряда один из двух идентичных АкБг находился в морозильной камере – «холодный», второй – при комнатной температуре – «теплый». При комнатной температуре в течение 20 ч без нагрузки изменение напряжения АкБ колебалось в пределах 13,07-13,06 В. При изменении температуры в пределах от -9,5 до -18,4 °С в течение 20 ч испытаний в морозильной камере напряжение АкБ колебалось в пределах 13,07-12,93 В. А к концу испытаний уровень напряжений составил 13,01 В. Т.е. уровень заряда находится около 100 % в соответствии с информацией производителя.

При оценке разряда АкБг под нагрузкой при различных температурах получена следующая зависимость напряжения АкБг от времени испытаний под нагрузкой (рисунок 4).

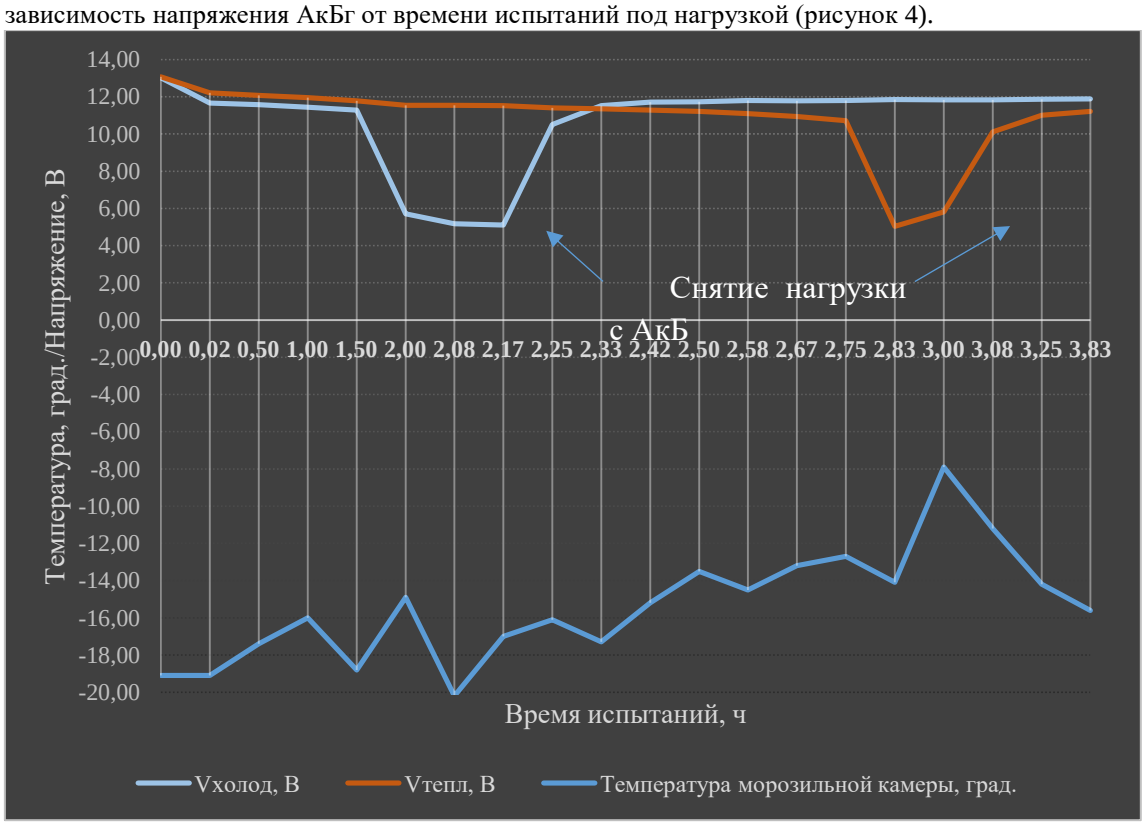


Рисунок 4 - Зависимость напряжения АкБг от времени испытаний под нагрузкой

В процессе эксперимента было отмечено резкое падение напряжения «холодного» АкБг после 2 ч работы при температуре близкой к -20 °С, «теплого» – после 2,8 ч работы под нагрузкой. При этом в паспорте на данную модель аккумуляторов производителем заявлена температура падения уровня заряда -40 °С. Это можно связать со снижением плотности электролита в процессе разрядки, что может привести к его замерзанию. Также выявлено, что оба образца АкБг после снятия нагрузки регенерируются до напряжения ~12 В, что примерно соответствует 50 %-му уровню заряда. При этом холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется – восстанавливает уровень заряда практически до 11,9 В.

В результате исследования времени непрерывной работы АкБг в составе ТТС с тяговым электроприводом получены зависимости напряжения блока АкБг и каждого отдельного аккумулятора от пройденного пути/времени движения (рисунок 5).

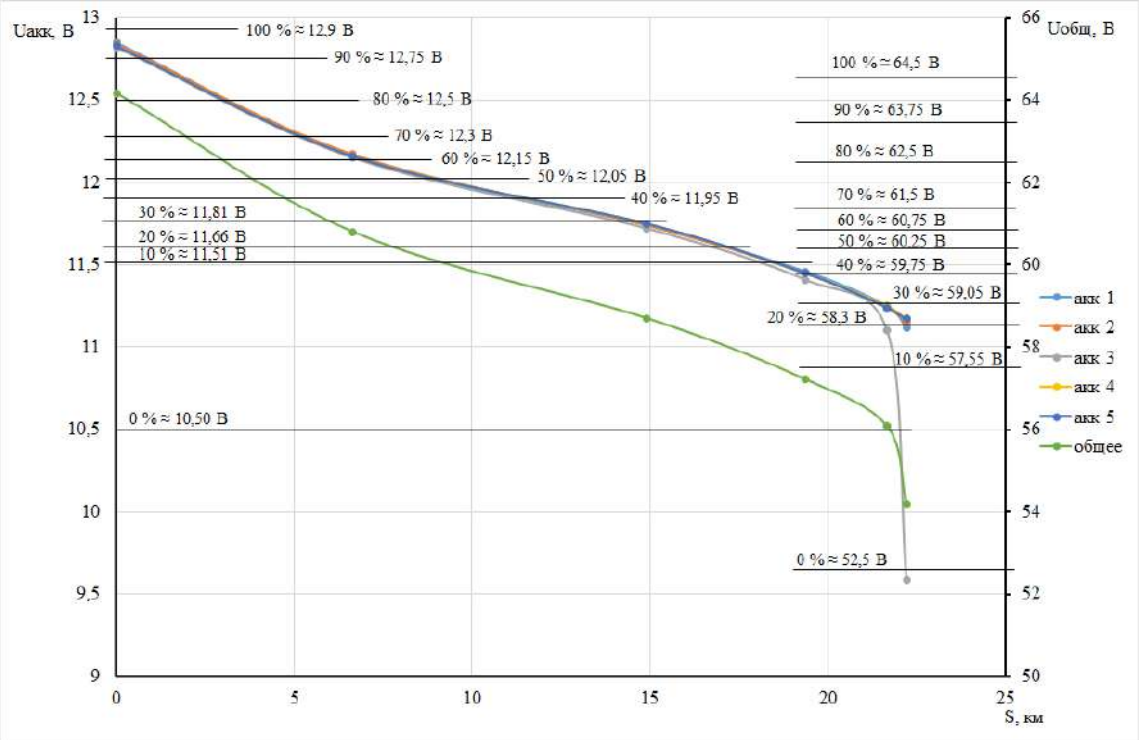


Рисунок 5 - Зависимость напряжения АкБг от пройденного расстояния S

При этом в ходе эксперимента обеспечено равномерное увеличение скорости ТТС. Общее время движения составило 106 мин, а пройденное расстояние – 22,21 км.

Анализ графиков показывает, что средняя скорость движения остается практически постоянной от времени движения до самого конца. Расчетная скорость движения составила 13,3 км/ч. Относительное время прохождения каждого участка представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний трицикла без нагрузки

№ заезда	ΔS, км	Δt, ч	ΔV, км/ч
1	6,65	0,5	13,3
2	8,27	0,5	16,54
3	4,45	0,5	8,9
4	2,3	0,217	10,62
5	0,54	0,05	10,8
		$\Delta V_{ср}$:	12,03

Напряжение практически на всех аккумуляторах падает одновременно. Один из АкБг показал более резкое падение напряжения на четвертом цикле работы.

Выводы.

По результатам первого этапа испытаний можно сделать следующие выводы:

1. За четверо суток исследований характеристик саморазряда при различных температурах оба АкБг разрядились практически одинаково – на 0,05 В.

2. Оба образца АкБг после снятия нагрузки регенерируются до напряжения ~12 В, что примерно соответствует 50 %-му уровню заряда. При этом холодный АкБ разряжается быстрее на 2-3 часа, но при снятии нагрузки быстрее регенерируется – восстанавливает уровень заряда практически до 11,9 В.

3. Таким образом, при эксплуатации гелевых аккумуляторов в холодное время года рекомендуется своевременная зарядка АкБ, а также обеспечение конструкторско-технологических мер по утеплению блока АкБ.

По результатам второго этапа испытаний можно сделать следующие выводы:

1. На одном заряде АкБг в режиме движения без дополнительной нагрузки трицикл может проехать 106 мин (22,21 км). При этом средняя скорость составляет 13,3 км/ч.
2. Падение напряжения на аккумуляторах имеется практически линейную зависимость от пройденного расстояния и времени испытаний.
3. Средняя скорость движения остается практически постоянной.
4. В ходе текущих испытаний была выявлена частичная неисправность аккумулятора №3, однако в целом на работу трицикла и величину суммарного напряжения она начала оказывать влияние только после 90 минут непрерывной работы.
5. В процессе испытаний было выявлено свойство аккумуляторов восстанавливать напряжение после некоторого времени выжидания без нагрузки. Требуется проведение испытаний трицикла с циклами движения и остановки для оценки влияния способности аккумуляторов к самовосстановлению на увеличение продолжительности движения. А также проведение синтетических тестов аккумулятора на длительность восстановления после кратковременного создания и снятия нагрузки в зависимости от текущей величины заряда (величины остаточного напряжения).
6. С учетом полученных результатов испытаний и существующего отечественного и зарубежного опыта экспериментальных исследований функциональных качеств трехколесных электрических транспортных средств, программу-методику предполагается расширить, испытания продолжить.

Список источников

1. Дидманидзе, О. Н. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21, № 1. – С. 74-85.
2. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7.
3. Problems and Prospects of Agricultural Tractors with Hybrid and Electric Drivetrain Creating / O. N. Didmanidze, E. P. Parlyuk, R. S. Fedotkin [et al.] // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, 10–11 ноября 2022 года. – Moscow: IEEE, 2022. – P. 22336029.
4. Патент № 2799472 C1 Российская Федерация, МПК B60L 50/60, B60L 58/18, B60L 58/24. Тяговая аккумуляторная батарея на основе литий-титанат оксидных ячеек для беспилотных высокоавтоматизированных транспортных средств: № 2022130933: заявл. 29.11.2022 : опубл. 05.07.2023 / Л. Н. Бутов, П. В. Пырков, А. Б. Бочарова [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Эвокарго".
5. Плешков, В. А. Синтенз активных элементов гелевых литий-ванадатных аккумуляторов / В. А. Плешков, Р. А. Юсупов, С. А. Михеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 8. – С. 319-322.
6. Ганова, А. С. Сравнительный анализ гелевых и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при применении на электромобиле / А. С. Ганова // Наука молодых - будущее России : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 4 т., Курск, 10–11 декабря 2020 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 68-71.
7. Сравнительный анализ гелевых и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при применении их на вооружении и военной технике / В. А. Степанов, Р. Ю. Федоров, Р. И. Хабибуллин, М. Н. Колесников // Техническое обеспечение служебно-боевой деятельности подразделений силовых структур государства: Сборник научных материалов / Под общей редакцией Р.В. Стрельцова. – Пермь: Федеральное государственное казенное военное

образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2018. – С. 87-93.

8. Albers J., Meissner E., Shirazi S. Lead-acid batteries in micro-hybrid vehicles / J. Albers, E. Meissner, S. Shirazi // Journal of Power Sources, 2011. Vol. 196. Issue 8. P. 3993-4002.

9. Основы эффективного использования накопителей энергии в тягово-транспортных средствах / О. Н. Дидманидзе, А. А. Солнцев, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – 200 с.

10. Parameters of the electric drive of a cargo electric vehicle for breeding and seed production / A. S. Dorokhov, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov, K. Dmitriev // International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022) : conference proceedings, Dushanbe, 19–21 апреля 2022 года. Vol. 12296. – Dushanbe: SPIE, 2022. – P. 122960.

11. Роботизированное транспортное средство с минимальным воздействием на окружающую среду / Р. С. Федоткин, Н. И. Дегтярев, К. С. Дмитриев, А. С. Овчаренко // Экология промышленного производства. – 2021. – № 4(116). – С. 59-63.

12. Модернизация конструкции мобильного роботизированного опрыскивателя / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. С. Овчаренко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 177-185.

13. Чебоксаров, А. Н. Анализ методик расчета фактической емкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при различных температурах / А. Н. Чебоксаров // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2022. – № 1. – С. 2-5.

14. Albers J. Heat tolerance of automotive lead-acid batteries / J. Albers // Journal of Power Sources, 2009. Vol. 190. Issue 1. P. 162-172.

15. Меркелова, Т. В. Инфраструктура электротранспорта и способы её оптимизации / Т. В. Меркелова // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25–26 января 2023 года. Том 2. – Москва: ООО «Сам полиграфист», 2023. – С. 403-406.

16. S. Schwimmbeck, P. Schroer, Q. Buchner and H. -G. Herzog, "Modeling the Dynamic Behavior of 12V AGM Batteries and Its Degradation," 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 1-6.

17. Аносов, В. Н. Динамическая модель тяговой аккумуляторной батареи автономного транспортного средства / В. Н. Аносов // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 41-44.

18. Разработать систему мобильных энергетических и транспортно-технологических средств для цифрового сельского хозяйства: Обоснование параметров и исследование мобильных энергетических и транспортно-технологических средств с интеллектуальными системами управления для производства отдельных видов сельскохозяйственных культур: отчет о НИР (промежуточ., этап 2) / ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; рук. Годжаев З.А.; исполн.: Лавров А.В., Сенькевич С.Е., Федоткин Р.С., Крючков В.А. [и др.]. – М., 2020. – 218 с. – № ГР АААА-А19-119041090079-9.

19. Сауц, А. В. Методика измерения ионной электропроводности гелевых полимерных электролитов / А. В. Сауц, Е. Подлеснов, М. В. Дорогов // Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 декабря 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 38-40.

20. C. M. T. Cruz et al., "Comparison of VRLA-AGM batteries lifetime charging with different currents waveforms for use on low power UPS," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, Brazil, 2015, pp. 1-6.

21. Анализ энергетических характеристик модернизированного электротранспорта малой грузоподъёмности / А. В. Линенко, В. Г. Байназаров, М. Ф. Туктаров, Б. Р. Халилов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(64). – С. 102-107.

22. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель» / А.Н. Блохин [и др.] // Наука и образование. – 2012. - № 12. - С. 75-106.

Reference

1. Didmanidze O.N. Past, present, future of agricultural tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2020. T.21, №1. P. 74-85. (in Russ.)

2. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Prokofiev M.M. Prospects for the development of tractor construction in Russia. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2023. № 5(311). P. 2-7. (in Russ.)

3. Problems and Prospects of Agricultural Tractors with Hybrid and Electric Drivetrain Creating / O. N. Didmanidze, E. P. Parlyuk, R. S. Fedotkin [et al.] // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, 10–11 ноября 2022 года. – Moscow: IEEE, 2022. – P. 22336029. (in Eng.)

4. Patent № 2799472 S1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B60L 50/60, B60L 58/18, B60L 58/24. [Traction battery based on lithium titanate oxide cells for unmanned, highly automated vehicles] *Tyagovaya akkumulyatornaya batareya na osnove oksidnykh yacheyek li-tiy-titana dlya bespilotnykh vysokoavtomatizirovannykh sredstv*: № 2022130933: zayavl. 29.11.2022: opubl. 07.05.2023 / L. N. Butov, P. V. Pyrkov, A. B. Bocharova [et al.]; *zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Evokargo"*. (in Russ.)

5. Pleshkov V. A. [Synthesis of active elements of gel lithium vanadate batteries] *Sintenz aktivnykh elementov gelevykh litiy-vanadatnykh akkumulyatorov* / V. A. Pleshkov, R. A. Yusupov, S. A. Mikheyeva // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2010. № 8. S. 319-322. (in Russ.)

6. Ganova, A. S. [Comparative analysis of gel and lead-acid batteries for electric vehicle applications] *Sravnitel'nyy analiz gelevykh i svintsovo-kislotnykh akkumulyatornykh batarey pri primenenii v elektromobilyakh* / A. S. Ganova // Nauka molodykh - budushcheye Rossii : sbornik nauchnykh statey 5-y Mezhnatsional'noy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh : v 4 t., Kursk, 10–11 dekabrya 2020 goda. Tom 4. *Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet*, 2020. S. 68-71. (in Russ.)

7. Stepanov V.A., Fedorov R.Yu., Khabibullin R.I., Kolesnikov M.N. Trends of development and application of gel batteries with armaments and military technique Tekhnicheskoye obespecheniye sluzhebno-boyevoy deyatel'nosti podrazdeleniy gosudarstvennykh silovykh struktur: Sbornik nauchnykh materialov / Pod obshchey red. R.V. Strel'tsova. – Perm': *Federal'noye gosudarstvennoye kazennoye voyennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Permskiy voyennyy institut Voysk natsional'noy gvardii Rossiyskoy Federatsii»,* 2018. S. 87-93. (in Russ.)

8. Albers J., Meissner E., Shirazi S. Lead-acid batteries in micro-hybrid vehicles / J. Albers, E. Meissner, S. Shirazi // Journal of Power Sources, 2011. Vol. 196. Issue 8. P. 3993-4002. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.094. (in Eng.)

9. Didmanidze O. N., Solntsev A. A., Parlyuk Ye. P., Pulyayev N. N. [Basics of the effective use of energy storage devices in traction vehicles] *Osnovy effektivnogo ispol'zovaniya nakopiteley energii v tyagovo-transportnykh sredstvakh*. Moskva: *Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva*, 2020. 200 pp. (in Russ.)

10. Parameters of the electric drive of a cargo electric vehicle for breeding and seed production / A. S. Dorokhov, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov, K. Dmitriev // International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022): conference proceedings, Dushanbe, 19–21 апреля 2022 года. Vol. 12296. – Dushanbe: SPIE, 2022. – P. 122960. (in Eng.)

11. Fedotkin R.S., Degtyarev N.I., Dmitriev K.S., Ovcharenko A.S. A robotic vehicle with minimal environmental impact. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2021. № 4(116). S. 59-63. (in Russ.)

12. Dorokhov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Ovcharenko A.S. Structure modernization of mobile robotic sprayer *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. № 3(32). S. 177-185. (in Russ.)

13. Cheboksarov A. Analysis of methods for calculating the actual capacity of lead-acid batteries at different temperatures. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta*. 2022. № 1. S. 2-5. (in Russ.)

14. Albers J. Heat tolerance of automotive lead-acid batteries / J. Albers // Journal of Power Sources, 2009. Vol. 190. Issue 1. P. 162-172. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.12.105. (in Eng.)

15. Merkelova, T. V. [Electric transport infrastructure and methods for its optimization] *Infrastruktura elektrotransporta i sposoby yeye optimizatsii* / T. V. Merkelova // Chteniya akademika V. N. Boltinskogo, Moskva, 25–26 yanvarya 2023 goda. Tom 2. – Moskva: OOO «*Sam poligraf-fist*», 2023. S. 403-406. (in Russ.)

16. S. Schwimmbeck, P. Schroer, Q. Buchner and H. -G. Herzog, "Modeling the Dynamic Behavior of 12V AGM Batteries and Its Degradation," 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC46532.2019.8952242. (in Eng.)

17. Anosov V.N. A dynamic model of the traction battery of an automotive transportation vehicle. *Elektrotekhnika*. – 2007. – № 9. – S. 41-44.

18. [Develop a system of mobile flows and transport-technological means for regional agriculture: Justification of parameters and research of mobile flows and transport-technological means with intelligent control chains for the production of certain types of agricultural crops] *Razrabotat' sistemu mobil'nykh potokov i transportno-tekhnologicheskikh sredstv dlya regional'nogo sel'skogo khozyaystva: Obosnovaniye parametrov i issledovaniye mobil'nykh potokov i transportno-tekhnologicheskikh sredstv s intellektual'nymi tsepochkami upravleniya dlya proizvodstva otdel'nykh vidov sel'skokhozyaystvennykh kul'turnykh* : otchet o NIR (promezhutoch., etap 2) / *FGBNU FNATS VIM* ; ruk. Godzhayev Z.A.; is-poln.: Lavrov A.V., Sen'kevich S.Ye., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. [et al.]. M., 2020. 218 s. № GR AAAA-A19-119041090079-9. (in Russ.)

19. Sauts A.V., Podlesnov E., Dorogov M.V. Procedure for measuring the ionic conductivity of gel-polymer electrolytes. Nauka i sovremennoye obshchestvo: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i inno-vatsii : Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 20 dekabrya 2020 goda. – Penza: «*Nauka i Prosveshcheniye*» (IP Gulyayev G.YU.), 2020. S. 38-40. (in Russ.)

20. C. M. T. Cruz et al., "Comparison of VRLA-AGM batteries lifetime charging with different currents waveforms for use on low power UPS," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, Brazil, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/COBEP.2015.7420201. (in Eng.)

21. Linenko A.V., Baynazarov V.G., Tuktarov M.F., Khalilov B.R. Analysis of the energy characteristics of the upgraded light-duty electric transport *Vestnik Bashkirskogo sluzhashchego agrarnogo universiteta*. 2022. № 4(64). S. 102-107. DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-102-107. (in Russ.)

22. Blokhin A.N. [et. al.] [Results of a study of an electric vehicle on the GAZelle chassis] *Rezul'taty issledovaniya elektromobilya na shassi «GAZel'». Nauka i obrazovaniye*. 2012. № 12. S. 75-106. (in Russ.).

Информация об авторах

О.Н. Дидманидзе - доктор технических наук, профессор, академик РАН; Р.С. Федоткин – кандидат технических наук, доцент; В.А. Крючков – кандидат технических наук, доцент; Т.В. Меркелова - магистрант.

Information about the authors

O. Didmanidze – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; R. Fedotkin – Candidate of technical sciences, Associate Professor; V. Kryuchkov – Candidate of technical sciences, Associate Professor; T. Merkelova - master's student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.862.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-46-55

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОРЕАКТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Юрий Александрович Киров [1]***, Виктор Юрьевич Копытин*** [2]***,***
Александр Владимирович Петушков [3]
[1,2,3] *Самарский государственный аграрный университет,*
Самарская область, г. Кинель, Россия
[1]kirov.62@mail.ru https://orcid.org/0009-0007-7299-9158
[2]kopytin.viktor1999@mail.ru, [3]3945688@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Юрий Александрович Киров, kirov.62@mail.ru
Corresponding author: Yuri Kirov, kirov.62@mail.ru

Реферат. *Повторное использование побочных продуктов животноводства позволяет увеличить рентабельность сельскохозяйственного предприятия и улучшить экологическую обстановку вокруг него. Одним из способов переработки органических отходов является анаэробное сбраживание с получением биогаза. Анализ распространенных конструкций систем перемешивания биогазовых установок показал, что их общими недостатками являются: повышенный риск разгерметизации из-за наличия движущихся частей в биореакторе и их уплотнений; значительные временные затраты на соблюдение технологии; при секционном исполнении биореактора используется несколько насосов. Разработана автоматизированная система гидравлического перемешивания для экспериментального образца биогазовой установки, включающая в себя: насос рециркуляционный, трубопроводы всасывающий и нагнетательный, временные реле, электромагнитные клапаны подачи воды, манометры, задвижки. Влияние технологических параметров системы гидравлического перемешивания на интенсивность процесса газообразования исследовали. Получено уравнение регрессии для определения влияния длительности и частоты перемешивания на эффективность процесса переработки побочных продуктов животноводства. Установлено, что в выбранном интервале процесс газообразования по результатам данного многофакторного эксперимента прямо пропорционально зависит от частоты перемешивания перерабатываемого субстрата. Для поддержания стабильной и эффективной работы биогазовой установки предложено периодическое перемешивание сбраживаемой массы длительностью 10 минут каждые 4 часа. Данные технологические параметры позволяют более эффективно обеспечивать предотвращение образования плавающей корки и осадка, участков разной температуры и pH внутри метантенка, а также способствуют равномерному распределению популяции бактерий в объёме биореактора.*

Ключевые слова: *вторичные продукты животноводства, утилизация, анаэробное сбраживание, биореактор, органические удобрения, биогаз, двухфакторный эксперимент.*

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A BIOREACTOR FOR PROCESSING ANIMAL BY-PRODUCTS

Yuri Kirov [1]***, Viktor Kopytin*** [2]***, Alexander Petushkov*** [3]
[1,2,3] *Samara State Agrarian University, Samara region, Kinel, Russia*
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]kopytin.viktor1999@mail.ru, [3]3945688@mail.ru

Abstract. *Reusing livestock by-products can increase the profitability of an agricultural enterprise and improve the environmental situation around it. One of the ways to process organic waste is anaerobic digestion to produce biogas. An analysis of common designs of biogas plant mixing systems*

showed that their common disadvantages are: increased risk of depressurization due to the presence of moving parts in the bioreactor and their seals; significant time costs to comply with the technology; with a sectional bioreactor, several pumps are used. An automated hydraulic mixing system has been developed for an experimental sample of a biogas plant, including: a recirculation pump, suction and discharge pipelines, time relays, solenoid valves for water supply, pressure gauges, valves. The influence of technological parameters of the hydraulic mixing system on the intensity of the gas formation process was studied. A regression equation was obtained to determine the influence of the duration and frequency of mixing on the efficiency of the process of processing livestock by-products. It has been established that in the selected interval the process of gas formation, according to the results of this multifactorial experiment, is directly proportional to the frequency of mixing of the processed substrate. Periodic stirring of the fermented mass for 10 minutes every 4 hours is proposed to maintain stable and efficient operation of the biogas plant. These technological parameters make it possible to more effectively prevent the formation of floating crust and sediment, areas of different temperatures and pH inside the digester, and also contribute to the uniform distribution of the bacterial population in the volume of the bioreactor.

Keywords: *secondary animal products, recycling, anaerobic digestion, bioreactor, organic fertilizers, biogas, two-factor experiment.*

Для цитирования: Киров Ю.А., Копытин В.Ю., Петушков А.В. Результаты экспериментальных исследований биореактора для обработки вторичных продуктов животноводства // Наука в центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 46-54. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-46-54.

For citation: Kirov Yu., Kopytin V., Petushkov A. Results of experimental studies of a bioreactor for processing secondary animal products. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 46-54. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-46-54.

Введение. Проблемы, которые связаны с рациональным использованием природных ресурсов и ростом отходов, в том числе и побочных продуктов животноводства, с течением времени требуют всё большего внимания. Учёными предлагаются и совершенствуются различные решения, которые способствуют улучшению экологической обстановки. Например, в сельском хозяйстве можно выделить несколько основных подходов к переработке органических отходов: компостирование, анаэробное сбраживание, термохимическая газификация [1,2,3,4].

Биогазовые технологии представляют собой комплексное решение, при относительно быстрой утилизации биоотходов, они позволяют получить из них эффлюент – высококачественное органическое удобрение и биогаз – альтернативный источник энергии. В удобрениях, которые получаются в ходе термофильного режима ферментации, отсутствуют специфические запахи, нитриты, болезнетворная микрофлора и семена сорняков. Биогаз можно использовать, не только в качестве альтернативного источника энергии, но и как факельное отопление или освещение теплиц и помещений, попутно увлажняя воздух за счёт образования воды, при сгорании метана и углекислого газа. Обширный спектр конструктивных и технологических параметров биореакторов позволяет подобрать наиболее оптимальное решение для сельскохозяйственного предприятия с учётом особенностей производства и скорректировать его в процессе эксплуатации. Доказано, что при изменении способа и режимов перемешивания возможно увеличить интенсивность газообразования и сократить время переработки примерно до 30% [5,6,7].

Цель – провести экспериментальные исследования для определения оптимальных параметров режима работы гидравлической системы перемешивания опытного образца биогазовой установки.

Материалы и методы. Для стабильного протекания реакции анаэробного сбраживания и эффективного процесса переработки органических отходов необходимо строгое соблюдение технологии и правильный подбор сырья, особенно при термофильном режиме протекания процесса [8].

Перемешивание перерабатываемого субстрата способствует интенсификации газообразования и улучшению качества получаемой биомассы, так как процесс перемешивания: уменьшает вероятность образования осадка и плавающей корки; способствует высвобождению пузырьков

образованного биогаза и равномерному распределению температурного градиента и популяция бактерий по всей площади перерабатываемого субстрата в биореакторе [9,10].

Полученные результаты анализа различных источников информации и патентный поиск позволили выделить ряд недостатков, которые объединяют большинство систем перемешивания биореакторов:

- повышенный риск разгерметизации из-за наличия движущихся частей в биореакторе и их уплотнений;
- значительные временные затраты на соблюдение технологии переработки органических отходов в биогазовых установках;
- при секционном исполнении биореактора используется два и более насоса для осуществления перемешивания [7,8,10,11].

Разработанная система автоматизированного гидравлического перемешивания (рисунок 1) решает вышеуказанные проблемы и включает в себя: насос рециркуляционный 1, соединённый с помощью трубопровода всасывающего 2 и трубопровода нагнетательного 3 с секцией метантенка многосекционного биореактора 4, временные реле 5 для управления электромагнитными клапанами подачи воды 6, манометры 7, которые установлены на всасывающем трубопроводе 2 и нагнетательном трубопроводе 3 и задвижки 9, которые обеспечивают возможность осуществления принудительного перемешивания при выходе из строя электромагнитных клапанов подачи воды 6 или аварийного слива перерабатываемой биомассы из секции метантенка многосекционного биореактора 4 [12,13].

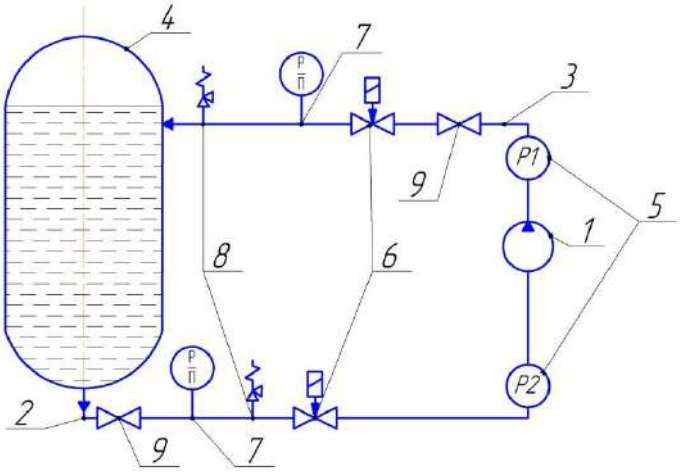


Рисунок 1 - Система автоматизированного гидравлического перемешивания: 1 - насос рециркуляционный; 2 - трубопровод всасывающий; 3 - трубопровод нагнетательный; 4 - секция метантенка многосекционного биореактора; 5 - временное реле; 6 - электромагнитный клапан подачи воды; 7 - манометр; 8 - предохранительный клапан;9 – задвижки

Система автоматизированного гидравлического перемешивания биогазовой установки работает следующим образом: исходный объём жидкой биомассы влажностью W=92…98% циркулирует по системе с помощью рециркуляционного насоса 1 по всасывающему трубопроводу 2 и нагнетательному трубопроводу 3. Отверстие всасывающего трубопровода 2 расположено в нижней части днища по центру, а отверстие нагнетательного трубопровода 3 в секции метантенка многосекционного биореактора 4 находится незначительно ниже верхней точки поверхности зеркала перерабатываемого субстрата и смещенно вбок относительно центра секции метантенка 4. С помощью временных реле 5 и электромагнитных клапанов подачи воды 6 происходит управление рециркуляционным насосом 1, то есть задаётся продолжительность и частота перемешивания. Давление в системе перемешивания контролируется манометрами 7, которые при выходе из строя элементов системы перемешивания или других непредвиденных ситуаций (показания давления выше/ниже критических), подают сигнал на управляющее устройство. При

превышении допустимого давления срабатывают предохранительные клапаны 8. Для реализации ручного режима управления системой перемешивания при выходе из строя электромагнитных клапанов подачи воды 6 или временных реле 5 на всасывающем трубопроводе 2 и нагнетательном трубопроводе 3 установлены задвижки 9.

Исследования проводились по следующей методике:

1. приготовление субстрата необходимой влажности;
2. загрузка подготовленной биомассы в секции биореактора;
3. обеспечение заданных технологическим процессов параметров;
4. снятие показаний протекания процесса;
5. обработка экспериментальных данных;
6. оценка адекватности результатов исследований;
7. обоснование и выбор оптимальных параметров системы гидравлического перемешивания опытного образца мобильной биогазовой установки.

В качестве сырья для опытного образца биогазовой установки использовался измельченный подстилочный навоз КРС влажностью W=92…98%.

Результаты и их обсуждение. Для выявления уровня влияния технологических параметров системы гидравлического перемешивания на интенсивность процесса газообразования при переработке органических отходов в биогазовой установке была принята двухфакторная модель регрессии (рисунок 2) [14,15]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (1)$$

где x_i – значения факторов; b_0 – свободный член, равный выходу процесса при x=0; b_i – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие на влияние того или иного фактора на изучаемый процесс.

При исследовании влияния длительности и частоты перемешивания на процесс анаэробного сбраживания были выбраны пределы: для длительности – 5 мин - 10 мин, частоты перемешивания – 1 - 6 раз в сутки.

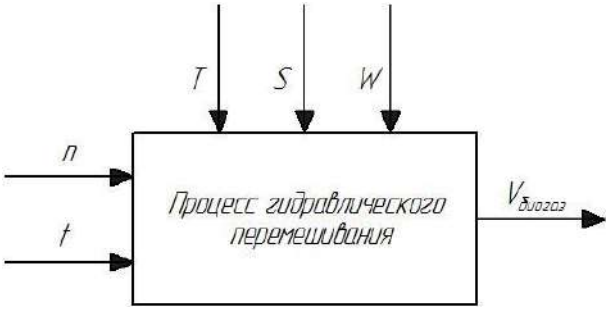


Рисунок 2 - Структурная схема объекта исследования: n – частота перемешивания, сут$^{-1}$; t – длительность перемешивания, мин; T – колебание температуры процесса, ^{0}C; S – состав субстрата, %; W – влажность субстрата, %; $V_{биогаз}$ – выход биогаза, л

Заполнена рабочая матрица двухфакторного ПФЭ (таблица 1).

Таблица 1 - матрица планирования двухфакторного ПФЭ

Уровень факторов	Кодированное значение факторов	Натуральное значение факторов	
		Длительность	Перемешивание
Нижний	-1	5	1
Верхний	+1	10	6
Основной	0	7,5	3,5
Интервал	1	2,5	2,5

Далее подготовили и заполнили матрицу планирования и обработки результатов двухфакторного ПФЭ (таблица 2).

Таблица 2 - матрица планирования и обработки результатов двухфакторного ПФЭ

№ опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе координат			Выходной пар-р	y1	y2
	z1	z2	x0	x1	x2	y ср		
1	5	1	1	-1	-1	424,5	421	428
2	10	1	1	1	-1	433,5	432	435
3	5	6	1	-1	1	679	682	676
4	10	6	1	1	1	726	724	728

Так как расчётное значение Кохрена меньше табличного (0,4455 < 0,9065), гипотеза об однородности дисперсии принимается.

После определения коэффициентов и проверки их значимости по критерию Стьюдента (таблица 3) записано уравнение математической модели:

$$V_{биогаз} = 565,75 + 14x_1 + 136,75x_2 + 9,5x_1x_2 . \quad (2)$$

Таблица 3 - Расчёт коэффициентов и проверка их значимости по критерию Стьюдента

Коэффициент	Значение коэф-та	Расчётное значение критерия Стьюдента	Табличное значение критерия Стьюдента	Примечание
b_0	565,75	431,5372	2,77645	Все коэффициенты значимы
b_1	14	10,67878	2,77645	
b_2	136,75	104,3088	2,77645	
b_{12}	9,5	7,246316	2,77645	

Следующим этапом является заполнение расширенной матрицы планирования и обработки результатов двухфакторного ПФЭ (таблица 4)

Таблица 4 - расширенная матрица планирования и обработки результатов двухфакторного ПФЭ

№	x1	x2	x1x2	y1	y2	$\bar{y}$	$S^2\{\tilde{y}_1\}$	$\hat{y}$
1	-1	-1	1	421	428	424,5	24,5	424,5
2	1	-1	-1	432	435	433,5	4,5	433,5
3	-1	1	-1	682	676	679	18	679
4	1	1	1	724	728	726	8	726

Все коэффициенты значимы, поэтому в данном случае проверка по критерию Фишера нецелесообразна (деление на ноль – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии равно четырём), но так как расчётные значения в столбце $\hat{y}$ равны значениям в столбце $\bar{y}$, то гипотеза об адекватности математической модели подтверждается.

Для раскодирования уравнения 2 значения «x» были заменены на натуральные значения. После выполнения необходимых расчётов, получено выражение (3) и поверхность функции отклика (рисунок 3) [15]:

$$V_{биогаз} = 372,2 + 0,28z_1 + 43,3z_2 + 1,52z_1z_2, \quad (3)$$

Анализ уравнения регрессии показывает, что частота перемешивания оказывает наибольшее влияние на интенсивность газообразования.

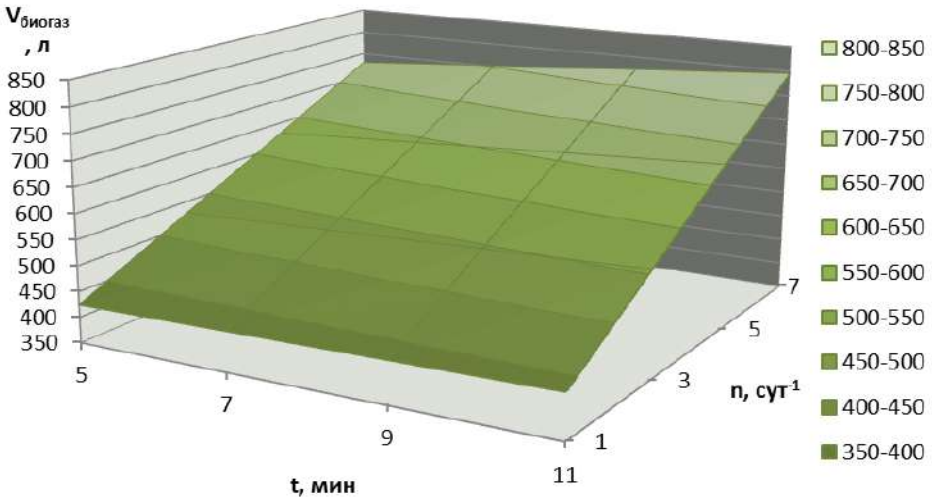


Рисунок 3 - График поверхности отклика зависимости интенсивности газообразования от длительности и частоты перемешивания перерабатываемого субстрата

Анализируя поверхность отклика (рисунок 3) можно сделать вывод, что наименьший выход биогаза составил при частоте перемешивания 1 раз в сутки длительностью 5 мин, а наибольший – 7 раз в сутки по 11мин.

Для более наглядного представления зависимости влияния исследуемых величин на интенсивность процесса газообразования построены графические зависимости (рисунок 4 и 5) по уравнению регрессии (3).

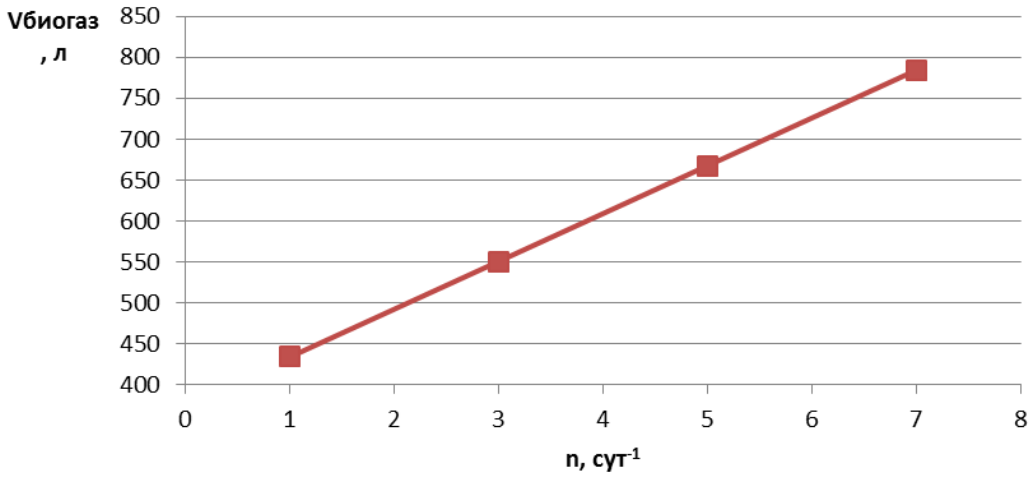


Рисунок 4 - Графическая зависимость влияния частоты перемешивания на интенсивность процесса газообразования (при длительности перемешивания 10мин)

Процесс газообразования по результатам данного многофакторного эксперимента (рисунок 4) прямо пропорционально зависит от частоты перемешивания перерабатываемого субстрата.

Исследования по выходу биогаза свыше 7 раз в сутки, проведенные предыдущими учеными, показывают, что дальнейшее увеличение числа перемешивания ведёт к незначительному увеличению выхода биогаза [7,8,9].

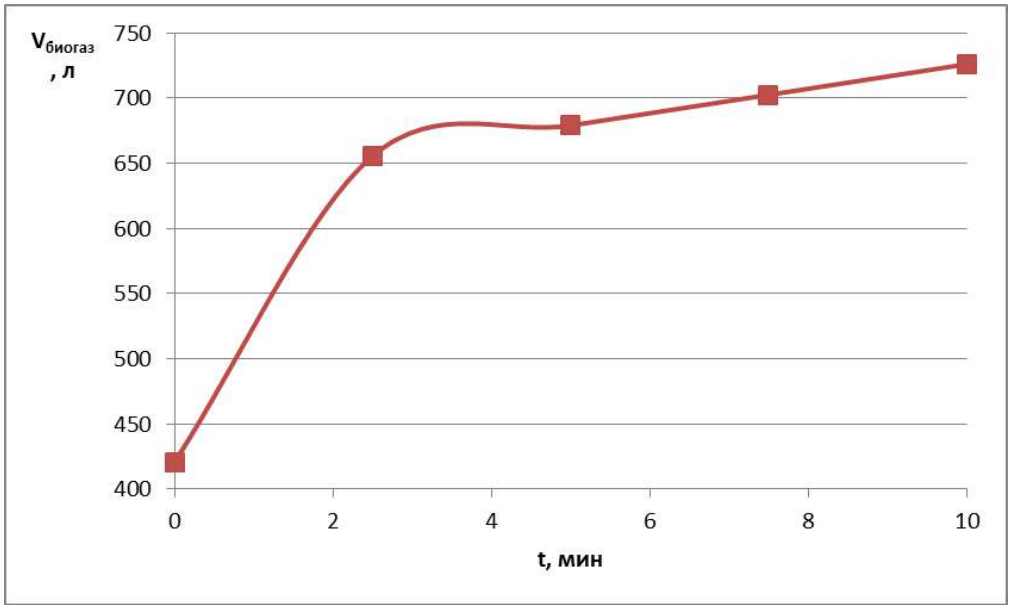


Рисунок 5 - Графическая зависимость влияния длительности перемешивания на интенсивность процесса газообразования (при периодичности 6 раз в сутки)

Анализируя зависимость на графике (рисунок 5) видно, что при увеличении времени перемешивания выход биогаза увеличивается, но более длительное перемешивание для опытного образца мобильной биогазовой установки экономически нецелесообразно.

Заключение. Таким образом, потребность в повышении эффективности утилизации органических отходов в биогазовой установке обусловлена значительными временными и экономическими затратами на соблюдение технологического процесса метанового сбраживания. Для увеличения выхода биогаза за счёт оптимизации системы гидравлического перемешивания необходимо правильно организовать технологический процесс, то есть найти оптимальное соотношение частоты и длительности перемешивания для конкретного субстрата и конструктивных особенностей установки. На примере опытного биореактора образца было получено уравнение регрессии и выявлено, что оптимальное время перемешивания составляет 10 мин по 6 раз в сутки. Полученные значения оптимальных параметров режима работы системы перемешивания совпадают с данными, которые публиковали авторы других похожих исследований – периодичность 5…8 раз в сутки с равномерно распределённым во времени интервалом в диапазоне 5…15мин.

Список источников

1. Органическое животноводство: опыт и перспективы развития / Л. Ю. Коноваленко, Н. П. Мишуров, П. И. Гриднев [и др.]. – Москва: ФГБНУ "Росинформагротех", 2021. – 88 с.
2. Баадер В. Биогаз: Теория и практика. (Пер с нем. и предисловие М.И. Серебряного.) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1992. – 148 с., ил.
3. Биомасса как источник энергии: Пер. с англ./ Под. ред. С. Соуфера, О. Заборски. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
4. Актуальность применения биогазовых установок в России и за рубежом / Б. Г. Зиганшин, И. И. Кашапов, И. Х. Гайфуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12, № 2(44). – С. 71-74.
5. Evaluation of effective manure disposal systems and its influence on soil fertility / P. I. Gridnev, T. T. Gridneva, Yu. Yu. Spotaru, W. Romaniuk // Agricultural Engineering. – 2016. – Vol. 20, No. 4. – P. 59-68.

6. Яковлева, Е. В. Биогазовая установка как способ решения проблемы утилизации отходов промышленного животноводства / Е. В. Яковлева, О. Я. Набокина, В. Н. Куракина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5(67). – С. 231-233.

7. Дьячковская, Л. Н. Анализ конструкций биогазовых установок для переработки навоза / Л. Н. Дьячковская, С. С. Ямпилов, В. П. Друзьянова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2015. – № 3(40). – С. 78-84.

8. Васенев, В. В. Исследование параметров биогазовой установки для переработки отходов животноводства / В. В. Васенев, С. К. Шерьязов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3(71). – С. 169-172.

9. Захарченко, А. Н. Пути повышения производительности с.-х. биогазовых установок / А. Н. Захарченко, П. И. Гаджиев, А. А. Захарченко // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 5. – С. 10-11.

10. Колдин, М. С. Технологические основы переработки навозной массы с получением биогаза / М. С. Колдин, И. П. Криволапов // Наука и Образование. – 2021. – Т. 4, № 3.

11. Киров Ю. А. Разработка технологической линии для разделения навозных стоков // Техника и оборудование для села. 2012. № 4. С. 24-26.

12. Пат. 2787785 Российская Федерация, МПК7 A01C 3/00. Способ утилизации животноводческих стоков на органические удобрения и биогаз / Киров Ю. А., Милюткин В. А., Котов Д. Н., Киров В. Ю., Петушков А. В., Копытин В. Ю., Балабанов С. О., Шестаков В. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» - № 2022110781; заяв. 21.04.2022; опубл. 12.01.2023, Бюл. №2. - 5 с.

13. Патент на полезную модель № 220010 U1 Российская Федерация, МПК C12M 1/02, C05F 9/02. Лабораторный биореактор: № 2023113278: заявл. 23.05.2023 : опубл. 21.08.2023 / Ю.А. Киров, В.Ю. Копытин, А.В. Петушков, С.В. Денисов, Д.Н. Котов, В.А. Киров, Ю.З. Кирова, К.А. Жичкин, К.В. Титоренко; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный аграрный университет".

14. Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства [Текст] / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – Москва: Колос, 1982. – 231 с.

15. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1976. – 280 с.

Reference

1. Organic animal husbandry: experience and prospects of development / L. Yu. Konovalenko, N. P. Mishurov, P. I. Gridnev [et al.]. – Moscow: Rosinformagrotech, 2021. – 88 p.

2. Baader V. Biogas: Theory and Practice. (Translated from German. and preface by M.I. Serebryany.) / V. Baader, E. Don, M. Brennderfer. – M.: Kolos, 1992. – 148 p., ill.

3. Biomass as an energy source: Translated from English/ Edited by S. Soufer, O. Zaborsky. – M.: Mir, 1985. – 368 p.

4. The relevance of the use of biogas plants in Russia and abroad / B. G. Ziganshin, I. I. Kashapov, I. H. Gayfullin [et al.] // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. – 2017. – Vol. 12, No. 2(44). – pp. 71-74.

5. Evaluation of effective manure disposal systems and its influence on soil fertility / P. I. Gridnev, T. T. Gridneva, Yu. Yu. Spotaru, W. Romaniuk // Agricultural Engineering. – 2016. – Vol. 20, No. 4. – P. 59-68.

6. Yakovleva, E. V. Biogas plant as a way to solve the problem of industrial livestock waste disposal / E. V. Yakovleva, O. Ya. Nabokina, V. N. Kurakina // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. – 2017. – № 5(67). – Pp. 231-233.

7. Dyachkovskaya, L. N. Analysis of designs of biogas plants for manure processing / L. N. Dyachkovskaya, S. S. Yampilov, V. P. Druzyanova // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. – 2015. – № 3(40). – Pp. 78-84.

8. Vasenev, V. V. Investigation of parameters of a biogas plant for processing animal waste / V. V. Vasenev, S. K. Sheryazov // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. – 2018. – № 3(71). – Pp. 169-172.

9. Zakharchenko, A. N. Ways to increase the productivity of agricultural biogas plants / A. N. Zakharchenko, P. I. Gadzhiev, A. A. Zakharchenko // Tractors and agricultural machines. - 2013. – No. 5. – pp. 10-11.

10. Koldin, M. S. Technological bases of manure mass processing with biogas production / M. S. Koldin, I. P. Krivolapov // Science and Education. – 2021. – Vol. 4, No. 3.

11. Kirov Yu. A. Development of a technological line for the separation of manure effluents // Machinery and equipment for the village. 2012. No. 4. pp. 24-26.

12. Pat. 2787785 Russian Federation, IPC7 A01C 3/00. Method of utilization of animal waste for organic fertilizers and biogas / Kirov Yu. A., Milyutkin V. A., Kotov D. N., Kirov V. Yu., Petushkov A.V., Kopytin V. Yu., Balabanov S. O., Shestakov V. V. ; applicant and patent holder of Samara State Agrarian University - No. 2022110781; application. 21.04.2022; publ. 12.01.2023, Bul. No. 2. - 5 p.

13. Utility model patent No. 220010 U1 Russian Federation, IPC C12M 1/02, C05F 9/02. Laboratory bioreactor: No. 2023113278: application 23.05.2023: publ. 21.08.2023 / Yu.A. Kirov, V.Yu. Kopytin, A.V. Petushkov, S.V. Denisov, D.N. Kotov, V.A. Kirov, Yu.Z. Kirova, K.A. Zhichkin, K.V. Titorenko; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University".

14. Zavalishin, F.S. Methods of research on the mechanization of agricultural production [Text] / F.S. Zavalishin, M.G. Matsnev. – Moscow: Kolos, 1982. – 231 p.

15. Adler, Yu. P. Experiment planning in the search for optimal conditions / Yu. P. Adler, E. V. Markova, Yu. V. Granovsky. – 2nd edition, revised and expanded. – Moscow: Federal State Unitary Enterprise "Academic Scientific Publishing, Production, Printing and Book Distribution Center "Nauka", 1976. – 280 p.

Информация об авторах

Ю.А. Киров – доктор технических наук, профессор, В.Ю. Копытин – аспирант, А.В. Петушков – аспирант.

Information about the authors

Yu. Kirov – Doctor of Technical Sciences, professor; V. Kopytin – postgraduate student; A. Petushkov - postgraduate student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.331.922
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-55-63

К РАЗРАБОТКЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ К СОВРЕМЕННОМУ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЮ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ ДЛЯ ИХ ОЧИСТКИ ОТ ПЫЛИ И ПРИМЕСИ

Владимир Афанасьевич Вялых [1]***, Александр Николаевич Бурмистров*** [2]***,***
Вячеслав Анатольевич Гулевский [3]
[1,2,3] *Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, п. Рамонь, Россия*
[1] labmexan2015@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Владимир Афанасьевич Вялых, labmexan2015@mail.ru
Corresponding author: Vladimir Vyalykh, labmexan2015@mail.ru

Реферат. *Качественные показатели протравливания семян в предпосевной осенний или весенний периоды зависят от степени их засоренности примесями. Суть представленной разработки направлена на совершенствование технологического процесса и рабочих органов современных протравливателей семян, обеспечивающих удаление пыли и примесей из их потока при поступлении из загрузного наклонного шнека в бункер, посредством снабжения и размещения над ним приемной пылевоздушной камеры в форме четырехгранной правильной пирамиды с углами овальной формы. Пирамида соединена посредством окна с загрузочным шнеком и размещенными на двух противоположных боковых гранях окнами со встроенными в них раструбами - воздухозаборным и пылезаборным, соединенным эластичным рукавом с закрепленным на боковине бункера циклоном. Верхняя ее часть соединена посредством рукава-воздуховода с вытяжным вентилятором с электроприводом, а нижняя часть – со съемным пылесборником. В таком положении степень очистки семян от пыли примесей до их поступления в камеру протравливания, способствует проникновению препаратов во внутрь семени и, соответственно, повышению их всхожести и урожайности возделываемой культуры на 15-20 %. Кроме того, обеспечивается удобство в эксплуатации машины как в процессе работы, так и при техническом обслуживании в целом, включая постановку на хранение.*

Ключевые слова*: протравливатель, семенной поток, технология, примеси, пыль, шнек, бункер, пылесборник, аспирация.*

TO THE DEVELOPMENT OF ADDITIONAL WORKING BODIES FOR A MODERN CEREAL SEED TREATMENT FOR CLEANING THEM FROM DUST AND IMPURITIES

Vladimir Vyalykh [1]***, Alexander Burmistrov*** [2]***, Vyacheslav Gulevsky*** [3]
[1,2,3] *All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection, Ramon, Russia*
[1] labmexan2015@mail.ru

Abstract. *The qualitative indicators of seed dressing in the pre-sowing autumn or spring periods depend on the degree of their contamination with impurities. The essence of the presented development is aimed at improving the technological process and working parts of modern seed treaters, ensuring the removal of dust and impurities from their flow when entering from the loading inclined auger into the bunker, by supplying and placing above it a receiving dust-air chamber in the form of a tetrahedral regular pyramid with oval corners. The pyramid is connected through a window to a loading auger and windows placed on two opposite side faces with sockets built into them - air intake and dust intake, connected by an elastic sleeve to a cyclone attached to the side of the hopper. Its upper part is connected through an air duct to an electric exhaust fan, and the lower part is connected to a removable dust*

collector. The degree of cleaning of seeds from dust and impurities in this position before they enter the dressing chamber promotes the penetration of drugs into the inside of the seed and, accordingly, increases their germination and the yield of the cultivated crop by 15-20%. In addition, the machine is easy to use both during operation and during maintenance in general, including storage.

Key words: *etcher, seed stream, technology, impurities, dust, auger, hopper, dust collector, aspiration.*

Для цитирования: Вялых В.А., Бурмистров А.Н., Гулевский В.А. К разработке дополнительных рабочих органов к современному протравливателю семян зерновых для их очистки от пыли и примеси // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 56-63. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-56-63.

For citation: Vyalykh V, Burmistrov A., Gulevsky V. To development of additional working tools to modern pickler of grain seeds for their cleaning from dust and impurity. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 56-63. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-56-63.

Качество протравливания семян сельскохозяйственных культур, в частности з е р н о в ы х , колосовых, современными мобильными протравливателями снижается вследствие частичного поглощения пылью и примесями рабочей жидкости, распыливаемой дисковым рабочим органом. При этом пыль через трещины и сколы проникает во внутрь семени, вплоть до зародыша [1, 2]. Устранение недостатка возможно путем оснащения агрегата устройством, обеспечивающим предварительную очистку семян до их поступления в размещенную под бункером камеру. В этих целях предложено между выпускной горловиной наклонного приемного шнека и бункером разместить съемную пневмокамеру в форме усеченной правильной четырехгранной пирамиды с ребрами в форме овала.

Наиболее близким техническим решением является протравливатель семян камерный ПСК-15 «Белама плюс» (Республика Беларусь [3]), снабженный тремя шнеками – горизонтальным и наклонным загрузочными и выгрузным, а также бункером семян и размещенным на раме агрегата фильтром аспирационной системы с установленным на нем электродвигателем с закрепленным на его валу вытяжным крыльчатым вентилятором. Внутри фильтра размещен решетчатый цилиндр, обтянутый по периферии фильтрующей тканью, а ко дну с помощью гайки присоединен накопитель пыли и примесей.

Вместе с тем, следует отметить то обстоятельство, что удаляемая пыль отделяется при падении семян в бункере вследствие разности их веса, однако при повышении уровня семян в бункере высота их падения уменьшается и пыль от семян не отделяется, снижая эффективность работы системы аспирации. Кроме того, тканевый фильтрующий элемент быстро забивается частицами пыли и половы, что требует остановки агрегата и дополнительного времени для его очистки. Периодические остановки протравливателя семян, наряду с ухудшением качества их очистки, приводят к снижению его сменной производительности.

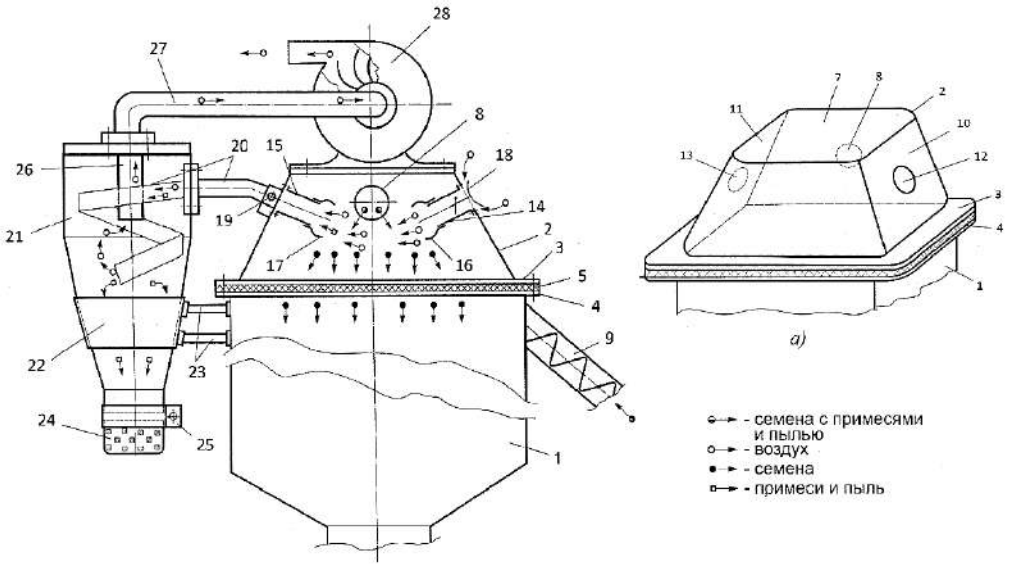
Технической задачей, решаемой при создании заявленного устройства, является эффективная очистка от пыли и примесей семян, подаваемых приемным наклонным шнеком в размещенную над бункером пневмокамеру, соединенную посредством рукавов смонтированного на бункере циклона с вытяжным вентилятором с электроприводом, а также регулирование степени разрежения воздуха в пневмокамере, что повышает качество очистки и коэффициент использования сменного времени.

В связи с изложенным, предложено конструктивное исполнение устройства к агрегату ПС-20К-4 с компактным его размещением на базе бункера семян в закрытом исполнении, обеспечивая удобство в его эксплуатации, включая проведение технических уходов обслуживающим персоналом. Предлагаемое техническое решение основано на использовании циклона в качестве пылеулавливающего аппарата [4] и поясняется нижеприведенными рисунками с их описанием.

Устройство к протравливателю семян для их очистки от пыли и примесей представляет собой размещенную над бункером 1 приемную съемную пневмокамеру 2 (рисунок 1, а), выполненную в

форме, усеченной четырехгранной правильной пирамиды с ребрами овальной формы с отбортовками 3 у ее основания и 4 – бункера 1, а также резиновой прокладкой 5 между ними и отверстиями 6 под болты ее крепления. Тыльная грань 7 снабжена окном 8, соединяющим пневмокамеру 2 посредством полотняного рукава (не показан) с наклонным загрузочным шнеком 9, а две боковые противоположно размещенные грани 10 и 11 – окнами 12 и 13, в которые изнутри вмонтированы патрубки, соответственно, воздухозаборный 14 и пылезаборный 15 с эластичными в форме шарового пояса раструбами съемными взаимозаменяемыми 16 и 17 (рисунок 1). Кроме того, во впускное окно воздухозаборного патрубка 14 вмонтирован заборник воздуха из атмосферы регулируемый 18.

Пылезаборный патрубок 15 снаружи посредством дросселя – регулятора 19 для интенсивного отсоса из бункера пылевоздушной массы и эластичного рукава в форме спирали **20** соединен с полостью циклона 21, размещенного в обечайке 22, закрепленной посредством кронштейнов 23 на боковине бункера 1. У основания циклон 21 снабжен съемным пылесборником 24 с закреплением хомутом 25. Верхняя цилиндрическая часть полости циклона 21 снабжена выхлопной трубой 26, соединенной эластичным шлангом – воздуховодом 27 с вентилятором 28 с электроприводом (не показан), установленным на пневмокамере 2.



а – общий вид пневмокамеры, размещенной над бункером семян
Рисунок 1 – Технологическая схема устройства

Устройство функционирует следующим образом. При включении в работу агрегата масса семенного потока из загрузочного шнека 9 через полотняный рукав (не показан) и окно 8 поступает в верхнюю часть пневмокамеры 2, в которой при работающем вентиляторе 28 с включенным электроприводом создается разрежение воздуха, поступающего из атмосферы через воздухозаборный патрубок 14 с эластичным раструбом 16 пронизывая рассеиваемый поступающий в пневмокамеру поток семян, отделяя из него легкие примеси и частицы пыли и их всасывание пылезаборным патрубком 15 с раструбом 17 с перемещением пылевоздушной массы через дроссель-регулятор 19 и эластичный пылезаборный рукав в форме спирали 20, закрепленный по нисходящей внутри полости циклона 21. Скорость движения потока воздуха в воздухозаборном патрубке 14 и интенсивность поступления частиц пыли и примесей в раструб 17 регулируют заборником воздуха из атмосферы 18. Отделяемые центробежными силами частицы пыли и примесей за счет гравитации поступают в размещенный у основания циклона 21 съемный пылесборник 24.

На рисунке 2 представлен общий вид устройства.

Рисунок 2 – Общий вид устройства к протравливателю семян ПС-20К-4

Испытание экспериментально-опытного образца устройства к серийному протравливателю семян ПС-20К-4 проводили на базе КХ «Путник» в селе Русская Гвоздевка Рамонского района Воронежской области с отбором проб из буртов пшеницы с примесями, а также очищенных семян из наклонного выгрузного шнека.

Качество удаления пыли и примесей из потока семян, поступающих в бункер, удовлетворяет агротехническим требованиям и проводилось в следующих режимах работы машины: подача семян в камеру протравливания – 10-12, т/час; подача суспензии в камеру протравливания – 1,7, л/мин.

Продолжительность смены при определении максимальной выработки составила 6,5 часов.

Качественные показатели очистки семян определяли путем сепарации с отбором проб из пылезаборника в трех вариантах – на расстоянии от основного потока семян: 100 мм, 120 мм и 130 мм.

Среднее значение массы отобранных проб в течение минуты в трехкратной повторности составила: – 75 г в пылезаборнике (пыль, чешуйки и большое количество зерен пшеницы); 50 г в пылезаборнике (пыль, чешуйки и небольшое количество зерен пшеницы); 22 г в пылезаборнике (в основном пыль и чешуйки).

Таким образом, в течение одного часа масса отобранных пыли и примесей составила: 4,5 кг; 3 кг и 1,32 кг – с наибольшим удалением пыли и легких примесей, что свидетельствует о максимальной очистке семян от пыли как основного поглотителя препаратов, в третьем варианте. Хотя и два первых варианта удовлетворяют агротребованиям.

Из отобранных проб семян на выходе из выгрузного шнека пыль отсутствовала, а количество чешуек составило 2-3 на 10 кг семян.

Таким образом, полностью очищенные от пыли и примесей семена поступают в размещенную под бункером камеру их протравливания, обеспечивая полноту проникновения препаратов во внутрь семени, вплоть до его зародыша в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивая, наряду с повышением урожайности возделываемой культуры на 15-20%, получение высокосортного семенного материала.

Расчет параметров циклона

К основным геометрическим и физическим параметрам циклона следует отнести внутренний диаметр, высота, объем, скорость (воздушного потока). Исходя из конкретных условий функционирования рабочих органов протравливателя семян ПС-20-К-4 и анализа технических характеристик, выпускаемых промышленностью к наиболее близким аналогам следует отнести циклон типа СК-ЦН-34 [5].

На рисунках 1 и 2 представлены его форма и общий вид с размещением на боковине, а над бункером - бесшумный вентилятор модели ECF 75/A, обеспечивающий необходимый вакуум во всасывающей магистрали.

Внутренний диаметр циклона определяем по формуле:

$$d_{\text{расч.}} = \sqrt{\frac{V_{\text{в}}}{0{,}785 \cdot \omega_{\text{опт}}}}, \quad (1)$$

где d – расчетный диаметр циклона, м; $V_{\text{в}}$ – расход воздуха, м^3/с;· $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость воздуха, м/с.

Принимаем расход воздуха $V_{\text{в}}$=700 м^3/ч или 0,19 м^3/с.

Для конического циклона СК-ЦН-34 $\vartheta_{\text{опт}}$=1,7 м/с.

Отсюда $d_{\text{расч.}} = \sqrt{\frac{0{,}19}{0{,}785 \cdot 1{,}7}}$=0,38 м =380 мм.

Принимаем ближайший стандартный внутренний диаметр циклона $d_{\text{ст}}$ = 400 мм.

Определим действительную скорость воздуха по формуле:

$$\vartheta_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{в}}}{0{,}75 \cdot d_{\text{ст}}^2}, \quad (2)$$

где $\vartheta_{\text{ц}}$ – действительная скорость воздуха в циклоне, м/с; $d_{\text{ст}}$ – стандартный диаметр циклона, м.

$$\vartheta_{\text{ц}} = \frac{0{,}19}{0{,}75 \cdot 0{,}4^2} = 1{,}6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Действительная скорость воздуха в циклоне $\vartheta_{\text{ц}}$ не должна отклоняться от оптимальной $\vartheta_{\text{опт}}$ более чем на 15%.

$$\left|\frac{\vartheta_{\text{опт}} - \vartheta_{\text{ц}}}{\vartheta_{\text{опт}}}\right| \cdot 100\% \leq 15\%. \quad (3)$$

Подставляя данные $\vartheta_{\text{опт}}$ = 1,7 м/с, $\vartheta_{\text{ц}}$ = 1,6 м/с, получаем:

$$\frac{1{,}7 - 1{,}6}{1{,}7} \cdot 100\% = 6\%.$$

Отклонение действительной скорости $\vartheta_{\text{ц}}$ от оптимальной $\vartheta_{\text{опт}}$ составляет 6%, что ниже предельно допустимой и соответствует вышеприведенному условию.

Компактное размещение в съемном исполнении узлов на базе серийной машины – пневмокамеры с замковыми соединениями, циклона на боковине бункера и вентилятора с электроприводом над камерой предоставляют обслуживающему агрегат персоналу удобства в его эксплуатации и техническом обслуживании.

На данную разработку получен Патент на изобретение «Устройство для очистки семян» №2794345, зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 17 апреля 2023 г.

По результатам производственных испытаний подготовлен технический проект и пояснительная записка нижеследующего содержания.

1. Назначение и область применения устройства, предназначенного для очистки семян зерновых колосовых от пыли и примесей до их поступления в камеру протравливания агрегата.

Применяется во всех зонах возделывания зерновых культур с умеренным климатом.

2. Техническая характеристика

2.1 Марка (на примере) ПС-2-К-4

2.2 Тип камерный самоходный

2.3 Производительность на пшенице за 1 час

– основного времени 17,7

–эксплуатационного времени 16,5

2.4 Масса сухая (конструкционная) с полным комплектом рабочих органов, кг 870

2.5 Подача дозатора жидкости, л/мин 0,7-3,5

2.6 Рабочая скорость движения м/мин 1,5

2.7 Потребляемая мощность, кВт 6,2

2.8 Количество обслуживающего персонала, чел. 1

2.9 Габаритные размеры в рабочем положении, мм

– длина 4300

– ширина 1940
– высота 2900
2.10 Срок службы, не менее, лет 5.

Описание и обоснование выбранной конструкции изложено на первой и второй страницах текста.

3. Результаты расчетов технико-экономической эффективности устройства

На основании расчетов технико-экономической эффективности разработки, выполненных в соответствии с основными положениями и показателями экономической оценки сельскохозяйственной техники на всех этапах ее создания и внедрения, представленных в ГОСТах [6, 7] были определены основные показатели по базовому и новому разработанному с учетом их технической характеристики, представленными в нижеприведенной таблице 1.

Исходные данные для расчета экономической эффективности системы аспирации протравливателя семян по базовому и новому вариантам приведены в нижеприведенной таблице.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчетов экономической эффективности «системы»

№ п/п	Показатели	Обозначение	Численное значение показателя		Основание для выбора показателя	
			базового	нового	Базового ПС-20К-4	нового
1	2	3	4	5	6	7
1	Масса протравливателя, кг	М	850	870	руководство по эксплуатации	Данные разработчика
2	Оптовая цена, тыс. руб.	$Ц_{опт}$	260	280	ООО «Агрохиммаш» г. Ставрополь	Данные разработчика
3	Коэффициент перевода оптовой цены в балансовую	m	1,1	1,1	ГОСТ 23730-88 «Техника сельскохозяйственная, методы экономической оценки»	
4	Балансовая цена протравливателя, тыс. руб.	Б	333	345	Расчет $Ц_{опт} \cdot m$	
5	Годовая загрузка, час	Т	140	140	По данным планового отдела ФГУП им. акад. А.Л. Мазлумова Россельхозакадемии	
6	Производительность протравливателя за час времени, т: основного эксплуатационного	$W_{осн}$* $W_{см}$	17,7 12,9	17,7 16,5	Расчет $W_{см}=W_{осн} \cdot k_{см}$	
7	Коэффициент использования сменного времени	$K_{см}$	0,7	0,9	Нормативы по эксплуатации и техническому обслуживанию машин // Защита и растений №2. 2004. – С. 54-56	
8	Количество обслуживающего персонала	Л	1	1	Технические условия	Данные разработчика

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
9	Часовая тарифная ставка + надбавка, руб./ч	С**	275	275	По данным планового отдела ФГУП им. А.Л. Мазлумова Россельхозакадемии
10	Норма амортизационных отчислений на протравливатель, %	*а*	20	20	Приложение к ГОСТ 23730-79 (М.: ЦНИИТЭИ, 1984)
11	Норма отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание, %	R	12	12	Приложение к ГОСТ 23730-79 (М.: ЦНИИТЭИ, 1984)
12	Удельная заработная плата, руб./т	З	22,2	16,7	Расчет $З = \frac{Л \cdot С}{W_{см}}$
13	Отчисления на амортизацию, руб./т	А	36,8	29,8	Расчет $А = \frac{Б \cdot а}{Т \cdot W_{см} \cdot 100}$
14	Отчисление на ремонт и техобслуживание, руб./т	$R_{то}$	22,0	17,9	Расчет $R_{то} = \frac{Б \cdot R}{T \cdot W_{см} \cdot 100}$
15	Расход электроэнергии за час работы протравливателя, кВт	$Р_э$	6,0	6,1	Руководство по эксплуатации ПС-20К-4
16	Стоимость электроэнергии, руб./кВт	$Ц_э$	4,2	4,2	По данным планового отдела ФГУП им. акад. А.Л. Мазлумова Россельхозакадемии
17	Затраты на электроэнергию, руб./т	$З_э$	1,95	1,55	Расчет $З_э = \frac{Р_э \cdot Ц_э}{W_{см}}$
18	Нормативная доля от стоимости на хранение протравливателя, %	$Ц_{хр}$	2	2	Приложение к ГОСТ 23730-79 (М.: ЦНИИТЭИ, 1984)
19	Отчисления на хранение протравливателя, руб./т	$О_{хр}$	3,7	2,9	Расчет $О_{хр} = \frac{Б \cdot Ц_{хр}}{T \cdot W_{см} \cdot 100}$
20	Удельные капитальные вложения, руб./т	$К_{уд}$	184	149,3	Расчет $k_{уд} = \frac{Б}{T \cdot W_{см}}$
21	Нормативный коэффициент эффективности капиталовложений	Е	0,15	0,15	Приложение к ГОСТ 23730-79 (М.: ЦНИИТЭИ, 1984)
22	Удельные эксплуатационные издержки, руб./т	И	85,75	68,8	Расчет $И = З + А + R_{то} + З_э + О_{хр}$
23	Удельные эффективные капиталовложения, руб./т	$К_{уд.э}$	27,7	22,3	Расчет $К_{уд.э} = Е \cdot К_{уд}$
24	Приведенные затраты, руб./т	П	113,45	91,1	Расчет $П = И + Е \cdot К_{уд}$

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
25	Годовой экономический эффект, тыс. руб.	$Э_г$	-	51,6	Расчет $Э_{гн} = (П_4 - П_5)\cdot T\cdot W_{сыб}$ $Э_{гп} = (П_4 - П_6)\cdot T\cdot W_{сыб}$
26	Коэффициент поощрительной надбавки	$К_{пн}$		0,15	
27	Годовой экономический с учетом $К_{пн}$ тыс. руб.	$Э_{гпн}$		59,3	$Э_{гпн} = Э_г + К_{пн}\cdot Э_г$
28	Удельные затраты труда, чел.ч/т	$Л_{уд}$	0,078	0,06	Расчет $Л_{уд} = \frac{Л}{W_{см}}$
29	Снижение затрат труда, %	$\Delta Л$	-	23	Расчет $\Delta Л_5 = \frac{(Л_{уд4} - Л_{уд5})\cdot 100}{Л_{уд4}}$

* – руководство по эксплуатации ПС-20К-4.

** – в том числе доплата за: вредные условия труда – 100%, классность – 20%, стаж работы – 10%, работа в выходные и праздничные дни – 50-100%.

Расчет экономической эффективности системы аспирации протравливателя семян по базовому и новому вариантам показал, что годовой экономический эффект составил 51,6 тыс. руб., при уменьшении затрат труда с 0,078 чел. час/т до 0,06 чел. час/т. или 23%.

Список источников

1. Карпов Б.А. Уборка, обработка и хранение семян. М., Россельхозиздат, 1974.

2. Шамаев Г.П., Шеруда С.Д. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней. Изд. 3-е перераб. и доп. М., «Колос», 1978. 256 с. с ил.

3. Протравливатель семян камерный ПСК-15. Руководство по эксплуатации с гарантийным талоном ПСК-15. 00.00.000 РЭ. Сайт www/Belama / Com / тел.+37529603-78-64.

4. Патент RU 2764208 РФ, C1 МПК A011/00 (2022.08) «Устройство для очистки семян» / Вялых В.А. (RU), Бурмистров А.А. (RU), Гулевский В.А. (RU), Столповская Е.И. (RU). Заявл. 4.08.2021. Опубл. 17.04.2023. Бюл. №11.

5. Методические указания к выполнению практической работы «Пылеулавливающие аппараты для очистки выбросов в атмосферу. Расчет циклонов» по дисциплине «Основы экологии» для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения / Сост. В.В.Севриков, А.А. Никитин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 24 с.

6. ГОСТ 23730-79. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Изд. официальное. М. – 1979 г.

7. ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. Изд. официальное. М. – 1994 г.

References

1. Karpov B.A. Seed harvesting, treatment and storage. M., Rosselkhozizdat, 1974.

2. Shamaev G.P., Sheruda S.D. Mechanization of crop protection from pests and diseases. Ed. 3rd rework. and additional M., «Kolos», 1978. 256 s. With silt.

3. Chamber PSK-15 seed etcher. Operating Manual with Warranty Card PSK-15. 00.00.000 OM. Website www/Belama/Com/tel + 37529603-78-64.

4. Patent RU 2764208 of the Russian Federation, S1 MPK A011/00 (2022.08) «Seed Cleaning Device» / Vyalykh V.A. (RU), Burmistrov A.A. (RU), Gulevsky V.A. (RU), Stolpovskaya E.I. (RU). Declared. 4.08.2021. Publ. 17.04.2023. Bul. №11.

5. Methodological Guidelines for Practical Work «Dust Collection Apparatus for Cleaning Air Emissions. Calculation of cyclones «in the discipline» Fundamentals of Ecology «for students of all specialties of full-time and part-time forms of study / Сост. V.V. Sergekov, A.A. Nikitin. – Sevastopol: Publishing House of SevNTU, 2008. - 24 s.

6. GOST 23730-79. Agricultural machinery. Methods of economic assessment. Ed. official. M. - 1979

7. GOST 23730-88. Agricultural machinery. Methods of economic assessment of universal machines and technological complexes. Ed. official. M. – 1994.

Информация об авторах

В.А. Вялых - доктор технических наук; А.Н. Бурмистров - старший научный сотрудник; В.А. Гулевский - доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

V. Vyalykh - Doctor of Technical Sciences; A. Burmistrov - senior researcher; V. Gulevsky - Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 20.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.516
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-64-77

РАСЧЁТ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

Дмитрий Вячеславович Никитин [1], Павел Александрович Галкин [2], Юрий Викторович Родионов [3], Михаил Сергеевич Абрамов [4], Наталья Владимировна Майстренко [5], Ольга Анатольевна Гливенкова [6]

[1,2,3,4,5,6] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,3]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]dmitryndv@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[2]paragam@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0006-2643-9419
[3]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[4]mikhail_abr37@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-0223-5118
[5]maystrenko.nv@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0005-6009-2634
[6]olga-glivenkova@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-9152-5958

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

Реферат. *Жидкостнокольцевые вакуумные насосы широко используются во многих сферах агропромышленного комплекса, в частности для процессов доения, хранения растительных материалов, их сушки и экстрагирования, а также пневмотранспорта. Выявлено, что, один из основных недостатков жидкостнокольцевых вакуумных насосов - низкий КПД (25-50%) часто обусловлен гидравлическими потерями при вращении жидкостного кольца о неподвижный корпус, а также неточными физическими предпосылками в уравнениях, описывающих движение жидкостного кольца - двухфазного турбулизированного потока в рабочей полости насоса. Как следствие, методика инженерного расчета насоса приводит к завышенным расчетным значениям эксплуатационных характеристик на стадии проектирования. В этой связи предложена комбинированная конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса с вращающимся корпусом, в которой, вращение может передаваться от лопаток рабочего колеса лопаткам корпуса (в случае малой и средней быстроты действия типоразмера насоса), посредством эвольветного зацепления, либо от лопаток корпуса лопаткам рабочего колеса (в случае большой и особо большой быстроты действия). За основу расчета жидкостного кольца принято уравнение неразрывности, условие устойчивости жидкостного кольца и порог возникновения кавитационных явлений, а также коэффициент, характеризующий падения скорости для турбулентного движения в безлопаточном пространстве по областям (всасывания, максимальная, сжатия, нагнетания). При этом механизм движения жидкостного кольца в рабочей полости насоса представлен физическими процессами в виде взаимодействия двух силовых потоков: гидравлический поток рабочей жидкости и термодинамический поток газовой среды. В расчете основного эксплуатационного параметра насоса – действительной быстроты действия, учтено испарение капель жидкости вследствие изменения температуры жидкостного кольца. Аналитически определены усилия, действующих на вращающееся колесо и вращающийся корпус комбинированной конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса*.

Ключевые слова: *жидкостнокольцевой вакуумный насос; вращающийся корпус; зацепление с эвольвентным профилем; эффективная мощность; быстрота действия.*

CALCULATION OF COMBINED DESIGN OF LIQUID RING VACUUM PUMP

Dmitry Nikitin [1], Pavel Galkin [2], Yuri Rodionov [3], Mikhail Abramov [4], Natalia Maistrenko [5], Olga Glivenkova [6]

[1,2,3,4,5,6] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1,3] *Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russian*
[1]dmitryndv@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[2]paragam@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0006-2643-9419
[3]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[4]mikhail_abr37@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-0223-5118
[5]maystrenko.nv@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0005-6009-2634
[6]olga-glivenkova@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-9152-5958

Abstract. *Liquid ring vacuum pumps are widely used in many areas of the agro-industrial complex, in particular for milking processes, storage of plant materials, their drying and extraction, as well as pneumatic transport. It has been revealed that one of the main disadvantages of liquid ring vacuum pumps - low efficiency (25-50%) is often caused by hydraulic losses during rotation of the liquid ring on a stationary body, as well as inaccurate physical prerequisites in the equations describing the movement of the liquid ring - a two-phase turbulent flow in the working pump cavity. As a consequence, the pump engineering calculation method leads to overestimated performance characteristics at the design stage. In this regard, a combined design of a liquid ring vacuum pump with a rotating casing has been proposed, in which rotation can be transmitted from the impeller blades to the casing blades (in the case of low and medium speed pump size), through involute engagement, or from the casing blades to the impeller blades (in in case of high and especially high speed of action). The basis for calculating the liquid ring is the continuity equation, the stability condition of the liquid ring and the threshold for the occurrence of cavitation phenomena, as well as a coefficient characterizing the drop in speed for turbulent motion in a bladeless space in areas (suction, maximum, compression, discharge). In this case, the mechanism of movement of the liquid ring in the working cavity of the pump is represented by physical processes in the form of the interaction of two power flows: the hydraulic flow of the working fluid and the thermodynamic flow of the gaseous medium. When calculating the main operating parameter of the pump - the actual speed of action - the evaporation of liquid droplets due to changes in the temperature of the liquid ring was taken into account. The forces acting on the rotating wheel and the rotating body of the combined design of a liquid ring vacuum pump are determined analytically.*

Keywords *liquid ring vacuum pump, rotating casing, involute meshing, efficient power, fast action.*

Для цитирования: Никитин Д.В., Галкин П.А., Родионов Ю.В., Абрамов М.С., Майстренко Н.В., Гливенкова О.А. Расчет комбинированной конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 64-77. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-64-77.

For citation: Nikitin D., Galkin P., Rodionov Yu., Abramov M., Maistrenko N., Glivenkova O. Calculation of combined design of liquid ring vacuum pump. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 64-77. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-64-77.

Введение. Вакуумные насосы находят широкое применение во многих сферах агропромышленного комплекса (АПК). Они используются для создания вакуума в доильных установках, поскольку перемещают молоко от доильных аппаратов в хранилища, не позволяя молоку загрязняться, а также впитывать запах [1]. Также они применяются для организации систем пневмотранспорта, перемещая сыпучий материал, обеспечивая высокую скорость процесса, чистоту сырья и взрывобезопасность, что особенно важно при транспортировании порошков [2]. Помимо этого, вакуум применяются для сушки, экстрагирования, выпаривания [3, 4].

Наиболее приемлемыми для этих целей в АПК используются жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН), которые обладают неоспоримыми преимуществами в сравнении с другими типами вакуумных насосов. ЖВН могут откачивать воздух, содержащий пары, капельную жидкость и

твёрдые включения, обладает низким уровнем шума и вибраций, а также не загрязняет окружающую атмосферу парами масла [5].

ЖВН разделяют на одно- и двухступенчатые. Применение второго типа насосов оправдано в случае, когда необходимо получить в процессах большую глубину вакуума. Для большинства же технологических процессов достаточно использование одноступенчатых ЖВН. На кафедре «МИГ» ФГБОУ ВО «ТГТУ» разработана комбинированная конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН КМ), в которой применены регулируемое нагнетательное окно и кинематическое замыкание рабочего колеса с вращающимся корпусом (рисунок 1). Данные технологические внедрения способствуют значительному снижению мощности, затрачиваемой на работу насоса, стабилизации давления разряжения [6].

Цель статьи. Совершенствование методики расчета жидкостного кольца вакуумного насоса, комбинированной модификации для определения быстроты действия, мощности, потребляемой на процесс, расчета усилий действующие на узлы насоса.

Материалы и методы. В различное время проектированием конструктивных параметров ЖВН занимались и продолжают заниматься ряд российских и иностранных учёных, в частности Лубенец В.Д., Галич В.П., Райзман И.А., Автономова И.В., Никитин Д. В. [7-11]. Основой расчетов ЖВН является определение жидкостного кольца. Расчёты вакуумных процессов АПК с использованием ЖВН показаны в работах Курочкина А.А., Матвеева А.Н., Поповой И.В., Родионова Ю.В. (докторская диссертация), и других исследователей [12-18]. Для определения аналитической методики рассматриваем базовые литературные источники по этой теме. При работе ЖВН, у которого корпус является неподвижным, происходит трение жидкостного кольца о корпус, что приводит к нагреву жидкостного кольца и газа, а также к увеличению расхода энергии. [19]. С целью уменьшения трения жидкостного кольца о корпус вакуумного насоса, последний изготовляется вращающимся за счет эвольвентного зацепления лопаток рабочего колеса и лопаток корпуса. При этом корпус ЖВН свободно устанавливается в подшипниках, ось которого эксцентрична относительно оси рабочего колеса. [20] При работе, в зависимости от быстроты действия вакуумного насоса, а соответственно и массогабаритных характеристик, вращение может передаваться либо от рабочего колеса, (в случае малой и средней быстроты действия) лопатки которого входят в эвольвентное зацепление с лопатками вращающегося корпуса, либо от корпуса (в случае большой и особо большой быстроты действия). В результате вращения корпуса трение жидкостного кольца о его стенки уменьшается, а, следовательно, снижается расход мощности на валу вакуумного насоса, уменьшается нагрев рабочей жидкости и газа, что уменьшает энергозатраты на вращения жидкостного кольца в безлопаточном пространстве [21]. Дальнейшее усовершенствование данного направления идет по пути применения в элементах зацепления полимерных материалов [22]. Уменьшение энергетических затрат в ЖВН также достигается изменением размера зоны сжатия и окна нагнетания, и, как следствие, уменьшение давления сжатия.

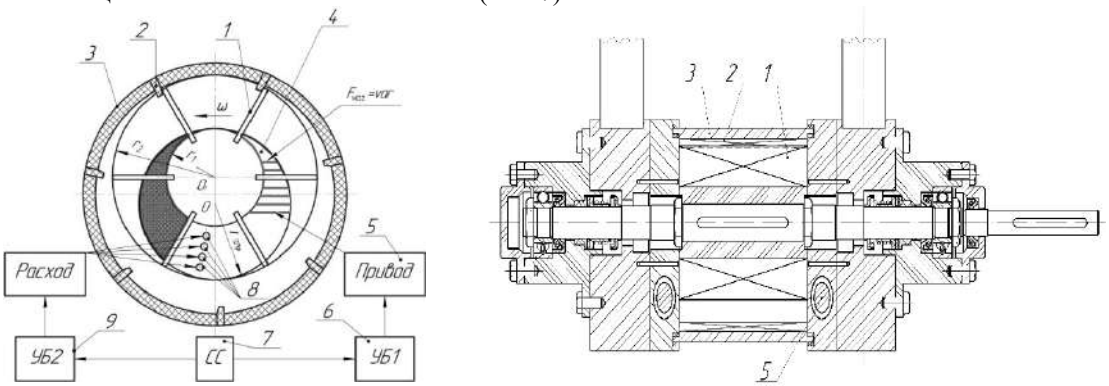
Экспериментальные исследования жидкостнокольцевых вакуумных насосов проведены в лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю.Г. Скрипникова» ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Результаты и обсуждение.

Для определения быстроты действия, мощности, потребляемой на процесс вакуумирования, расчета усилий действующие на узлы данного вакуумного насоса необходимо знать форму жидкостного кольца, которая может быть определена аналитическим путем с учетом изменения давления газа в процессе сжатия.

Схема одноступенчатого ЖВН КМ представлена на рисунке 1. Одноступенчатый вакуумный насос состоит и вращающего корпуса (поз. 3) с лопатками описанной эвольвентой кривой (поз. 2), при приводе за корпус с помощью механической передачи (ременной) они приводят во вращения рабочее колесо (поз. 1). Окно нагнетания (поз. 4) оснащено механизмом регулирования проходного сечения, приводимый в действие при помощи привода (поз. 5) под управлением блока (поз. 6). Блок управления (поз. 6) принимает от системы слежения (поз. 7) сигнал о параметрах рабочего процесса (температура и расход дополнительно подаваемой рабочей жидкости, давления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах) и рабочих характеристиках ЖВН КМ (эффективная мощность, быстрота действия). Для подачи дополнительной рабочей жидкости

всасывающая область оснащена штуцерами (поз. 8), которые управляются блоком (поз. 9), принимающий сигнал от системы слежения (поз. 7).



а) б)

1 – рабочее колесо; 2 – лопатки рабочего колеса, описанные по эвольвентной кривой; 3 – вращающий корпус с лопатками; 4 – окно нагнетания; 5 – привод; 6 – блок управления; 7 – система слежения; 8 – штуцеры всасывающей области; 9 – блок управления

Рисунок 1 – Эскиз жидкостнокольцевого вакуумного насоса комбинированной модификации ЖВН КМ: а) поперечный разрез, б) продольный разрез

Для расчета примем, что корпус ЖВН вращается с окружной скоростью рабочего колеса, умноженного на передаточное число, и определяется как

$$\omega_к = \omega_{рк} u, \tag{1}$$

где: $\omega_к$ – окружная скорость корпуса, $с^{-1}$; $\omega_{рк}$ – окружная скорость рабочего колеса, $с^{-1}$; u – передаточное число.

Из условия устойчивости жидкостного кольца, а также возникновения кавитационных явлений получаем линейную скорость на периферии лопаток рабочего колеса u_2

$$u_2 = \sqrt{\frac{3\frac{p_н}{\rho_ж} - 2\frac{p}{\rho_ж}}{c_z}}, \tag{2}$$

где $p_н$ – давление нагнетания, кПа; $\rho_ж$ – плотность рабочей жидкости, кг/м3; p – давления всасывания, кПа; c_z – коэффициент, учитывающий форму и число лопаток рабочего колеса.

Тогда угловая скорость рабочего колеса

$$\omega_{рк} = \frac{u}{r_2}, \tag{3}$$

где r_2 – радиус рабочего колеса, м.

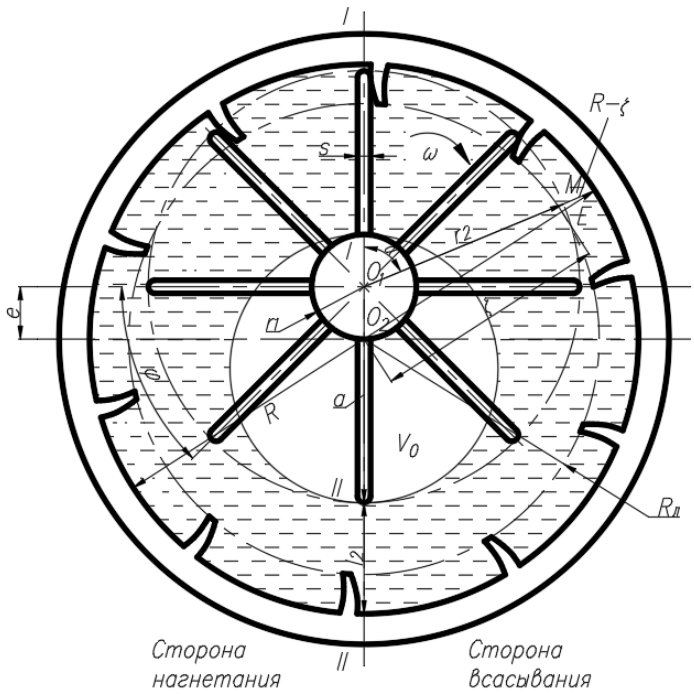


Рисунок 2 – Демонстрация основных геометрических характеристик насоса

Основным технологическим параметром ЖВН является теоретическая быстрота действия, которая находится следующим образом

$$S_{т} = \pi\left(r_{22\varphi}^{2} - r_{1}^{2}\right)b\psi n, \tag{4}$$

где b – ширина корпуса насоса, м; $r_{22\varphi}$ – радиус жидкостного кольца по углу поворота φ, м; r_1 – радиус втулки рабочего колеса, м; ψ – коэффициент, учитывающий уменьшение объема рабочей ячейки за счет толщины лопаток; n – частота вращения рабочего колеса, мин$^{-1}$.

Поскольку для вакуум-насосов быстрота действия изначально известная величина, то значение r_2 находится по формуле

$$r_2 =, \sqrt{\frac{2S_{д}}{\psi u_2 \chi (1-\nu^2)}} \tag{5}$$

где χ – отношение ширины рабочего колеса (b_0) к r_2; ν – отношение r_1 к r_2.

Далее получаем величину эксцентриситета e равную

$$e = \varepsilon r_2, \tag{6}$$

где ε = 0,15 – относительный эксцентриситет.

Число лопаток рабочего колеса

$$z_2 = \pi\sqrt{\frac{1}{3}\frac{R(r_2 - r_1)}{f}\left(1 - \left(\frac{e}{R_{л}}\right)^2\right)}, \tag{7}$$

где R – радиус корпуса, м; f – площадь сечения лопатки в радиальном направлении, м^2; $R_л$ – радиус лопатки на корпусе, м.

Радиус корпуса получим из формулы передаточного числа

$$u = \frac{R}{r_2} = \frac{R}{R-e}. \tag{8}$$

Выражая по правилу пропорции и решая квадратное уравнение получаем:

$$R = e + r_2. \tag{9}$$

Подставляя полученное значение радиуса корпуса и посчитав передаточное число, найдём число лопаток корпуса

$$z_1 = \frac{z_2}{u}. \tag{10}$$

Для определения формы жидкостного кольца необходимо рассмотреть уравнение неразрывности расхода жидкости, циркулирующей через любое радиальное сечение жидкостного кольца с учетом определения средней скорости жидкости в безлопаточном пространстве

$$Q_{\text{ЖI–I}} = Q_{\text{ЖII–II}}, \tag{11}$$

где $Q_{\text{Ж}}$ – расход жидкости через сечения I-I и II-II соответственно, м^3/сек.

Толщина лопатки приводится к проекции длины лопатки на направления радиуса, проведенного через основание лопатки

$$s = \frac{f}{r_1 - r_2}, \tag{12}$$

где f — площадь сечения лопатки в радиальном направлении, м^2;

Радиус-вектор ζ для любого сечения определяется из треугольника O_1O_2M (рисунок 2)

$$\zeta = \sqrt{r_1^2 + e^2 + 2r_1\, e\cos\alpha}, \tag{13}$$

где α – угол поворота рассматриваемого сечения, отсчитываемый от вертикальной оси вакуумного насоса в сторону вращения, рад.

В формуле 14 справа первая часть выражает количество жидкости, проходящее через данное сечение рабочего колеса, а вторая часть — через соответствующее сечение серпообразного пространства жидкостного кольца.

Количество жидкости, циркулирующей через сечение I-I, равняется

$$Q_{\text{ЖI–I}} = Q_{\text{ЖК}} + Q_{\text{ЖЛК}} =$$

$$= \left(\frac{(R - R_{\text{л}})\left(\frac{R + R_{\text{л}}}{2}\right)}{i} + \frac{(r_2 + r_1)}{2}(r_2 - r_1) \right) \omega_{\text{рк}} b_0, \tag{14}$$

где $Q_{\text{ЖК}}$ – объемное количество жидкости в лопатках рабочего колеса, м^3/с; $Q_{\text{ЖЛК}}$ – объемное количество жидкости в лопатках корпуса, м^3/с; i – передаточное отношение.

$$Q_{\text{в}} = \left[\left(r_2^2 - r_1^2\right) - \frac{z_1 s}{\pi}\left(r_2 - r_1\right) \right] \frac{b_0 \omega_{\text{рк}}}{2}, \tag{15}$$

Линейная скорость на периферии лопатки рабочего колеса определяется как

$$v \approx r_2 \omega_{\text{рк}}, \tag{16}$$

Среднюю скорость жидкостного кольца в сечении II-II можно с небольшой погрешностью принять равной окружной скорости корпуса на радиусе r_2, т.е.

$$v_{ср} = \psi r_2 \omega_{рк}, \tag{17}$$

Тогда, исходя из условия неразрывности потока, толщину жидкостного кольца l_2 в сечении II-II можно определить из уравнения

$$Q_{ЖП-II} = Q_{ЖК} + Q_{БП} + Q_{ЖЛК} =$$

$$= \left(\frac{(R - R_л)\left(\frac{R + R_л}{2}\right)}{i} \omega_{лр} + (R_л - r_2)V_{ср} + \left((r_2 - r_{22\varphi})\left(\frac{r_2 + r_{22\varphi}}{2}\right)\right)\omega_{рк} \right) b_0, \tag{18}$$

где $Q_{БП}$ – объемное количество жидкости в безлопаточном пространстве, м^3/с; $V_{ср}$ – средняя скорость движения жидкости в безлопаточном пространстве, м/с.

При этом, толщина жидкостного кольца в сечении II-II находится как

$$l_2 = \frac{Q_{ЖI\text{-}I}}{b\psi r_2 \omega_{рк}}, \tag{19}$$

Величина погружения лопаток рабочего колеса a в жидкостное кольцо в нижней его части

$$a = R + e - r_2 - l_2, \tag{20}$$

Если величина a окажется положительной, то лопатки рабочего колеса не будут погружаться в жидкостное кольцо в нижней его части, если a отрицательно, то колесо погружается в жидкость. Эксперименты показали, что форма жидкостного кольца во всасывающей полости и в полости сжатия разная.

Скорость движения жидкостного кольца во всасывающей полости изменяется от величины $r_2\omega$ в сечении I-I до $\psi r_1\omega$ в сечении II-II.

Коэффициент падения скорости K в любом промежуточном сечении на стороне всасывания приблизительно пропорционален величине (R – ζ) в этом сечении, т. е. толщине жидкости в серпообразном сечении

$$K = 1 - \beta(R_л - \zeta), \tag{21}$$

Коэффициент пропорциональности β определяется из условий для сечения II-II, где

$$R - \zeta = R - e - r_1; K = \psi, \tag{22}$$

$$\beta = \frac{1 - \psi}{R + e - r_1}, \tag{23}$$

$$\upsilon = [1 - \beta(R - \zeta)] r_1 \omega_{рк}. \tag{24}$$

Введя коэффициент определения падения скорости для турбулентного движения в безлопаточном пространстве по областям (всасывания, максимальная, сжатия, нагнетания), получаем уравнение для определения формы жидкостного кольца во всасывающей полости:

$$Q_в = \left[\left(r_2^2 - r_{22\varphi}^2\right) - \frac{z_1 s}{\pi}\left(r_2 - r_{22\varphi}\right) \right] \frac{b_0 \omega_{рк}}{2} + [1 - \beta(R_л - \zeta)](R_л - \zeta) r_2 \omega_{рк} b, \tag{25}$$

В полости сжатия, в любом сечении жидкостного кольца уравнение справедливо.

Таким образом, форму жидкостного кольца представим физическими процессами в насосе в виде взаимодействия двух силовых потоков: гидравлический поток рабочей жидкости и термодинамический поток газовой среды.

Аналитически данное взаимодействие описывается системой уравнений расхода жидкости для гидравлической системы, представленной выше, и движением тела переменной массы для термодинамической системы. Данный метод позволяет решать задачу по определению ЖК для новых видов ЖВН.

Решение системы уравнений дает возможность определить форму поверхности жидкостного кольца на любом режиме работы. Также могут быть получены и внешние характеристики насоса во всем диапазоне его работы с учетом влияния тепло- и массообмена на рабочий процесс и параметры ЖВН, что позволит создать более оптимальные конструкции насосов и весьма существенно повысит их производительность, а также и КПД.

Определение действительной быстроты действия рассматриваемого вакуумного насоса осуществляем в следующей последовательности. Для ЖВН КМ она находится произведением теоретической быстроты действия на коэффициент подачи

$$S_{\text{д}} = S_{\text{т}}\lambda_{\text{п}}, \tag{26}$$

где $S_{\text{т}}$ – теоретическая быстрота действия; $\lambda_{\text{п}}$ – коэффициент подачи.

При этом, коэффициент подачи данного вакуумного насоса запишем в следующем виде

$$\lambda_{\text{п}} = 1 - \lambda_{\text{З}}, \tag{27}$$

где $\lambda_{\text{З}}$ – коэффициент, учитывающий снижение быстроты действия при испарении капель жидкости вследствие изменения температуры жидкостного кольца.

Коэффициент, учитывающий потери в результате испарения, находим как

$$\lambda_{\text{З}} = \frac{V_1 z_1}{\pi(r_{22\varphi}^2 - r_1^2)b\psi}. \tag{28}$$

Экспериментально установлено, что при отношении давлений в пределах до 10 кПа, коэффициент подачи для ЖВН КМ можно принимать в первом приближении равным $\lambda_{\text{п}} = 0{,}7\ldots0{,}75$.

Находим теоретическую быстроту действия ЖВН КМ свободным объемом ячейки в момент, когда прекращается ее сообщение с всасывающим отверстием. Для этого положения необходимо определить радиус-вектор x из уравнения. Значение ζ должно отвечать углу α, соответствующему сечению жидкостного кольца, в котором находится в этот момент лопатка, замыкающая ячейку.

Теоретическая быстрота действия $S_{\text{т}}$ ЖВН КМ определяется, как

$$S_{\text{т}} =, \left[\left(r_{22\varphi}^2 - r_1^2\right) - \frac{z_1 s}{\pi}\left(r_{22\varphi}^2 - r_1\right)\right]\frac{b_0\omega_{\text{рк}}}{2}, \tag{29}$$

Далее проводим определение усилий, действующих на вращающееся колесо и вращающийся корпус ЖВН КМ.

На ступицу рабочего колеса в каждой ячейке действуют следующие силы:

1) усилие от давления газа P_1, равное произведению давления газа на площадь внутренней поверхности жидкостного кольца.

$$P_1 = p_1\left(r_{22\varphi}\varphi - s\right)b_0, \tag{30}$$

где p_1 — давление газа в ячейке в Па для участка сжатия, определяемое по уравнению; $\varphi = 2\pi/z$ — угол между лопатками в радианах.

2) усилие от давления жидкости в ячейке рабочего колеса на приращение площади жидкостного кольца в ней.

Давление воды в любой точке жидкостного кольца $p_{\text{ж}}$ на расстоянии y от оси колеса

$$p_{\text{ж}} = p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(y^2 - r_{22\varphi}^2\right), \tag{31}$$

где ωy и $\omega r_{22\varphi}$ — скорость жидкости на радиусах y и $r_{22\varphi}$ внутренней поверхности жидкостного кольца.

Элементарное приращение усилия dP_2 от давления воды при переходе от сечения с радиусом y к сечению с радиусом $y+dy$

$$dP_2 = \left[p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(y^2 - r_{22\varphi}^2\right)\right] dy\varphi b_0 = \varphi b_0 \left[p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(y^2 - r_{22\varphi}^2\right)\right] dy, \quad (32)$$

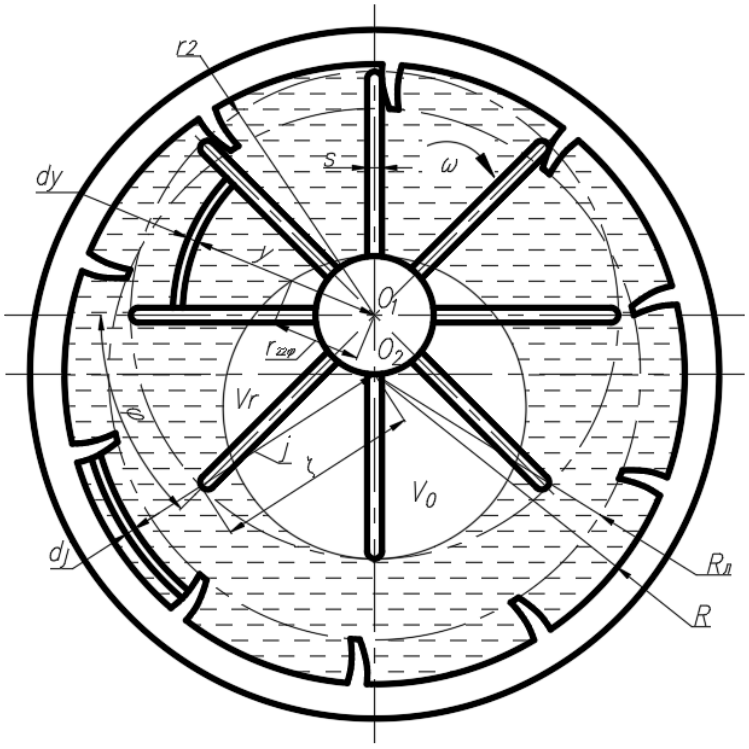


Рисунок 3 – К определению элементарного приращения усилия dP_2

Интегрируя это выражение от $y = r_{22\varphi}$ до $y = r_2$, получаем полное усилие от давления воды внутри ячейки рабочего колеса:

$$P_2 = \varphi b_0 \int_{r_{22\varphi}}^{r_2} \left[p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(y^2 - r_{22\varphi}^2\right)\right] dy =$$
$$= \varphi b_0 \left(r_2 - r_{22\varphi}^2\right)\left[p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(r_2 - r_{22\varphi}^2\right)\left(r_2 + 2r_{22\varphi}^2\right)\right] dy, \quad (33)$$

3) усилие от давления воды P_3, действующее на торцы стенок и лопатки. Давление воды на окружности рабочего колеса:

$$P_3 = p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(r_2^2 - r_{22\varphi}^2\right), \quad (34)$$

При этом, усилие, действующее на торцы стенок и лопатки рабочего колеса, в пределах рассматриваемой ячейки:

$$P_3 = \left[p_1 + \frac{y\omega_{\text{рк}}^2}{2g}\left(r_2^2 - r_{22\varphi}^2\right)\right]\left[r_2\varphi\left(b_{\text{н}} - b_0 + sb_0\right)\right], \quad (35)$$

где $b_{\text{н}}$ — наружная ширина рабочего колеса, м.

Полное усилие в каждой ячейке на ступицу рабочего колеса:

$$P_к = P_1 + P_2 + P_3, \quad (36)$$

Это усилие направлено по среднему радиусу ячейки. Усилие, действующее в каждой ячейке можно разложить на вертикальную составляющую:

$$X = P_{\text{к}} \cos\alpha, \quad (37)$$

и горизонтальную составляющую:

$$Y = P_{\text{к}} \sin\alpha, \quad (38)$$

где α – угол между средним радиусом ячейки и вертикалью.

Одноименные составляющие суммируются для всех ячеек колеса.

Полное усилие на колесо:

$$P_{\text{к.пол}} = \sqrt{\left(\left(\sum X\right)^2 + \left(\Sigma Y\right)^2\right)}, \quad (39)$$

Давление на участок цилиндрической стенки вращающегося корпуса в пределах угла φ между продолжением осей лопаток рабочего колеса слагается из давления на окружности рабочего колеса и давления жидкости на стенку в серпообразном пространстве между рабочим колесом и стенкой корпуса.

Давление в серпообразном пространстве определяется следующим образом. Повышение давления *dp* внутри кольца при переходе от сечения с радиусом *j* (от центра корпуса) к сечению *j* + *dj*.

$$dp = \frac{y}{g} \cdot \frac{v^2}{j} \cdot dj, \quad (40)$$

Принимая скорость всех частиц жидкости в данном сечении постоянной, можно определить суммарное давление p_4 от жидкостного кольца в серпообразном пространстве на стенку корпуса, интегрируя это уравнение в пределах от $j = \zeta$ до $j = R$:

$$p_4 = \frac{v^2 y}{2g}\int_{v}^{R}\frac{dj}{j} = \frac{v^2 y}{g} 2.3\log\frac{R}{\zeta}, \quad (41)$$

Полное давление на участок вращающегося корпуса:

$$p_{\text{вк}} = p_3 + \frac{v^2 y}{g} 2.3\log\frac{R}{\zeta}, \quad (42)$$

где *v* — скорость в серпообразном пространстве, определяемая как:

$$v = \frac{Ax^2 - Bx - F}{b\left(R - \zeta\right)}, \quad (43)$$

Усилие, действующее на участок стенки вращающегося корпуса против каждой ячейки рабочего колеса,

$$P_{\text{вк}} = p_{\text{вк}}(r_2 + R - \zeta)b\varphi, \quad (44)$$

Это усилие разлагается на вертикальную X и горизонтальную Y составляющие:

$$X = P_{\text{вк}} \cos\alpha, \quad (45)$$

$$X = P_{\text{вк}} \sin\alpha, \quad (46)$$

Полное усилие на вращающийся корпус:

$$P_{\text{вк.пол}} = \sqrt{\left(\left(\sum X\right)^2 + \left(\Sigma Y\right)^2\right)}, \quad (47)$$

Выводы. Предложена конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса с корпусом, вращающимся за счет эвольвентного зацепления расположенных на его внутренней стороне лопаток и лопастей рабочего колеса, регулируемого нагнетательного окна. Данные конструктивные решения способствуют значительному снижению мощности, затрачиваемой на работу вакуумного насоса, стабилизации давления разряжения. Насос носит название жидкостнокольцевого вакуум-насоса комбинированной модификации.

Для определения быстроты действия, расчета усилий, действующие на узлы ЖВН комбинированной модификации предложена методика определения формы жидкостного кольца. На основании определенной формы жидкостного кольца ЖВН КМ уточнена методика расчета быстроты действия.

На основании определения формы жидкостного кольца определена быстрота действия данного вакуумного насоса.

Предложена формула расчета усилий на вращающийся корпус данного вакуумного насоса.

Список источников

1. Теория и расчет адаптивного доильного оборудования для крупного рогатого скота / В. Ф. Ужик, О. В. Китаева, О. А. Чехунов [и др.]. – Москва; Белгород: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-книготорговый центр "Колос-с", 2020. – 520 с. – ISBN 978-5-00129-159-6.
2. Землянов, А. А. Применение современных информационных технологий для обработки результатов испытаний водокольцевых вакуумных насосов / А. А. Землянов, В. А. Наумов // Вестник молодежной науки. – 2019. – № 2(19). – С. 20.
3. Герасимова, О. А. Энергосберегающий привод водокольцевого вакуумного насоса / О. А. Герасимова, Р. В. Тимошенков // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Сборник докладов XIV Международной научно-практической конференции, Великие Луки, 11–12 апреля 2019 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 187-192.
4. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. Г. Однолько, И. В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6(20). – С. 106-110.
5. Никитин, Д. В. Использование жидкостнокольцевых вакуумных насосов в процессах АПК / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, А. В. Дьяченко, В. В. Крылов // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей II международной научно-практической конференции в 2-х томах, Тамбов, 21–23 октября 2020 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2020. – С. 140-143.
6. Родионов, Ю. В. Комбинированная конструкция жидкостно-кольцевого вакуумного насоса для технологических процессов АПК / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин, Г. В. Рыбин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.
7. Лубенец, В. Д. Исследование, теория и расчет объемных вакуум-насосов и установок низкого вакуума: дис. … д-ра техн. наук / Лубенец Владислав Диомидович. - М., 1972. – 405 с.
8. Галич, В. П. Исследование рабочего процесса жидкостно-кольцевых машин: дис. … канд. техн. наук / Галич Виктор Петрович. – Казань, 1980. – 162 с.
9. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуум-насосы и компрессоры / И.А. Райзман. – Казань, 1995. – 258 с.: ил.
10. Автономова, И. В. Исследование ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров: дис. … канд. техн. наук / Автономова Инна Владиславовна. – М., 1972. – 166 с.

11. Никитин, Д. В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: дис. … канд. техн. наук: 05.02.13: защищена 31.10.10: утв. 11.03.2011 / Никитин Дмитрий Вячеславович. – Тамбов, 2010. – 158 с.

12. Курочкин, А. А. Повышение эффективности подготовки нетелей к лактации за счет совершенствования процессов и средств механизации: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / А. А. Курочкин. – Санкт-Петербург, 1993. – 321 с.

13. Матвеев, А. Н. Обоснование конструктивно-кинематических параметров водокольцевого вакуумного насоса двойного действия для доильных установок: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01. - Барнаул, 2001. - 149 с. : ил.

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

15. Родионов, Ю. В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосовс учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис. … д-ра техн.наук : 05.20.01 / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2013. – 434 с

16. Гуськов, А. А. Совершенствование технологии и технических средств экстрагирования растворимых веществ из растительного сырья: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Мичуринск, 2019. – 136 с.

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

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

19. Райзман, И. А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры. – Казань: 1995. – 258 с.

20. Пат. 2492360 РФ. Жидкостно-кольцевая машина / Галкин П.А., Зорин А.С., Никитин Д.В, Нищев А.А., Родионов Ю.В., Сычев М.В. Бюл. № 25. 2013.

21. Патент № 2784993 C1 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина: № 2021128067: заявл. 23.09.2021: опубл. 01.12.2022 / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, А. С. Зорин ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ТЕХЛАЙН".

22. Патент на полезную модель № 215192 U1 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина: № 2022111421: заявл. 26.04.2022: опубл. 02.12.2022 / А. С. Зорин, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ТЕХЛАЙН".

References

1. Theory and calculation of adaptive milking equipment for cattle / V. F. Uzhik, O. V. Kitaeva, O. A. Chekhunov [et al.]. - Moscow; Belgorod: Limited Liability Company "Publishing and book-trading center "Kolos-s", 2020. - 520 c. - ISBN 978-5-00129-159-6.

2. Zemlyanov, A. A. Application of modern information technologies for processing the test results of water ring vacuum pumps / A. A. Zemlyanov, V. A. Naumov // Bulletin of Youth Science. - 2019. - № 2(19). - C. 20.

3. Gerasimova, O. A. Energy-saving drive of the water-ring vacuum pump / O. A. Gerasimova, R. V. Timoshenkov // Scientific and Technical Progress in Agricultural Production: Collection of reports of the XIV International Scientific and Practical Conference, Velikie Luki, April 11-12, 2019. - Velikie Luki: Velikie Luki State Agricultural Academy, 2019. - C. 187-192.

4. Rodionov, Yu. V. Justification of the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu. V. Rodionov, V. G. Odnolko, I. V. Popova // Voprosy sovremennoi nauki i praktika. V.I. Vernadsky University. V.I. Vernadsky University. - 2009. - № 6(20). - C. 106-110.

5. Nikitin, D. V. The use of liquid ring vacuum pumps in the processes of agroindustrial complex / D. V. Nikitin, Y. V. Rodionov, A. V. Dyachenko, V. V. Krylov // Digitalization of agroindustrial complex : Collection of scientific articles of the II International Scientific and Practical Conference in 2 volumes, Tambov, October 21-23, 2020. - Tambov: Tambov State Technical University, 2020. - C. 140-143.

6. Rodionov, Yu. V. Combined design of liquid ring vacuum pump for technological processes of agroindustrial complex / Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin, G. V. Rybin // Bulletin of P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. - 2022. - T. 14. - № 2. - C. 166-176. - DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.

7. Lubenets, V. D. Research, theory and calculation of volumetric vacuum pumps and low vacuum installations: Cand. ... doctor of technical sciences / Lubenets Vladislav Diomidovich. - M., 1972. - 405 c.

8. Galich, V. P. Investigation of the working process of the liquid ring machines: Cand. ... candidate of technical sciences / Galich Victor Petrovich. - Kazan, 1980. - 162 c.

9. Raizman, I.A. Liquid ring vacuum pumps and compressors / I.A. Raizman. - Kazan, 1995. - 258 p.: ill.

10. Avtonomova, I. V. Investigation of the rotary liquid ring vacuum compressors: Cand. ... candidate of technical sciences / Inna Vladislavovna Avtonomova. - M., 1972. - 166 c.

11. Nikitin, D. V. Design improvement and maintenance of the specified operating characteristics of liquid ring vacuum pumps: Cand. ... cand. tech. sciences: 05.02.13: protected 31.10.10: appl. 11.03.2011 / Nikitin Dmitry Vyacheslavovich. - Tambov, 2010. - 158 c.

12. Kurochkin, A. A. Increase of efficiency of preparation of heifers to lactation at the expense of perfection of processes and means of mechanization: dissertation for the degree of doctor of technical sciences / A. A. Kurochkin. - St. Petersburg, 1993. - 321 c.

13. Matveev, A. N. Justification of the constructive and kinematic parameters of the double-acting water-ring vacuum pump for milking installations: dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01. - Barnaul, 2001. - 149 c.: ill.

14. Popova I. V. Improvement of technology and means of drying of vegetable raw materials: Cand. ... candidate of technical sciences: 05.20.01. - Michurinsk, 2009. - 161 c.

15. Rodionov, Yu. V. Improvement of theoretical methods of calculation and substantiation of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps taking into account the peculiarities of technological processes in the agroindustrial complex: Cand. ... doctor of technical sciences: 05.20.01 / Rodionov Yuri Viktorovich. - Tambov, 2013. - 434 c

16. Guskov, A. A. Improvement of technology and technical means of soluble substances extraction from vegetable raw materials: specialty 05.20.01 "Technologies and means of mechanization of agriculture" : Ph. Dis. ... candidate of technical sciences: 05.20.01. - Michurinsk, 2019. - 136 c.

17. Zorin A.S. Perfection of the technology and technical means of the combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips : a diss. ... candidate of technical sciences: 05.20.01. - Tambov, 2019. - C. 156.

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

19. Raisman, I. A. Liquid ring vacuum pumps and compressors. - Kazan: 1995. - 258 c.

20. Pat. 2492360 RF. Liquid ring machine / Galkin P.A., Zorin A.S., Nikitin D.V., Nishchev A.A., Rodionov Yu. 2013.

21. Patent No. 2784993 C1 Russian Federation, MPK F04C 7/00, F04C 19/00. Liquid ring machine: No. 2021128067: avt. 23.09.2021: publ. 01.12.2022 / D. V. Nikitin, Y. V. Rodionov, A. S. Zorin ; applicant Limited Liability Company "TECHNLINE".

22. Patent for utility model No. 215192 U1 Russian Federation, MPK F04C 7/00, F04C 19/00. Liquid ring machine: No. 2022111421: avt. 26.04.2022: publ. 02.12.2022 / A. S. Zorin, Y. V. Rodionov, D. V. Nikitin [and others] ; applicant Limited Liability Company "TECHLINE".

Информация об авторах

Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент, П.А. Галкин – кандидат технических наук, доцент, Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор, М.С. Абрамов – аспирант, Н.В. Майстренко – кандидат технических наук, доцент, О.А. Гливенкова – кандидат филологических наук, доцент.

Information about the authors

D. Nikitin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, P. Galkin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Yu. Rodionov - Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Abramov - postgraduate student, N. Maistrenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, O. Glivenkova - Candidate of Philological Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631:362.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-78-85

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ С ИНФРАКРАСНЫМ НАГРЕВОМ ЗЕРНА

Сергей Алексеевич Сутягин [1], Пётр Сергеевич Агеев [2], Галина Владимировна Карпенко [3], Андрей Александрович Павлушин [4], Владимир Иванович Курдюмов [5]
[1,2,3,4,5]*Ульяновский государственный аграрный университет, г. Ульяновск, Россия*
[1] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817, [2] ageev_petr@mail.ru
[3] karpenko.galina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0214-4193
[4] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[5] bgdie@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779

Реферат. *В настоящее время тепловые процессы послеуборочной обработки зерна, предназначенные для улучшения его качества, являются высокоэнергозатратными и дорогостоящими. Разработка новых средств механизации с инфракрасным нагревом зерна, способных снизить удельные энергозатраты на процессы тепловой обработки, а также обеспечить ресурсосбережение, является актуальной и важной научно - технической проблемой. Для сокращения затрат на сушку, обеззараживание и микронизацию зерна, а также улучшения качества его тепловой обработки нами разработан экспериментальный образец установки с инфракрасным нагревом. Исследование разработанной установки проводили в режиме сушки зерна. В качестве объекта исследования выбрали технологический процесс высушивания зерна пшеницы с исходной влажностью 18…19 %. В качестве параметра оптимизации приняли суммарные удельные затраты энергии на сушку зерна. В результате исследования разработанной установки с инфракрасным нагревом зерна определены рациональные значения выбранных факторов: время сушки зерна* $t_1 = 100^0C$*; температура, создаваемая инфракрасным нагревателем внутри кожуха установки* $t_{ин} = 65^0C$*. Далее провели серию экспериментов на разработанной установке на указанных выше режимах. В каждом эксперименте делали замеры температуры нагрева зерна, определяли процент снижения влажности зерна и пропускную способность установки, а также фиксировали суммарные удельные затраты энергии. Температура нагрева зерна находилась в пределах 37 - 38,5 ºС, при этом влажность зерна снижалась на 2,56 %. Разработанная установка обеспечивает требуемое качество сушки зерна, поддерживая пропускную способность около 800 кг/ч и минимальные суммарные удельные затраты энергии, которые составили 4342,3 кДж·ч/кг.*

Ключевые слова: *установка, инфракрасный нагрев, зерно, подвод теплоты, ленточный транспортёр, разделители слоя, сушка.*

STUDY OF AN INSTALLATION WITH INFRARED HEATING OF GRAIN

Sergey Sutyagin [1], Pyotr Ageev [2], Galina Karpenko [3], Andrey Pavlushin [4], Vladimir Kurdyumov [5]
[1,2,3,4,5] *Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia*
[1] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817, [2] ageev_petr@mail.ru
[3] karpenko.galina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0214-4193
[4] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[5] bgdie@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779

Abstract. *Thermal post-harvest processing of grain currently intended to improve its quality is highly energy-intensive and expensive. The development of new means of mechanization with infrared heating of grain, capable of reducing specific energy costs for heat treatment processes, as well as ensuring resource conservation, is a pressing and important scientific and technical problem. To reduce the cost of drying, disinfection and micronization of grain, as well as improve the quality of its heat*

treatment, we have developed an experimental model of an installation with infrared heating. The study of the developed installation was carried out in grain drying mode. The technological process of drying wheat grain with an initial moisture content of 18...19% was chosen as the object of study. The total specific energy consumption for grain drying was taken as an optimization parameter. The rational values of the selected factors were determined as a result of a study of the developed installation with infrared heating of grain: grain drying time t1 = 1000C; the temperature created by the infrared heater inside the installation casing is tin = 650C. Next, a series of experiments was carried out on the developed installation in the above modes. In each experiment, measurements were taken of the heating temperature of the grain, the percentage of reduction in grain moisture content and the throughput of the installation were determined, and the total specific energy consumption was recorded. The heating temperature of the grain was in the range of 37 - 38.5 ºC, while the moisture content of the grain decreased by 2.56%. The developed installation provides the required quality of grain drying, maintaining a throughput of about 800 kg/h and a minimum total specific energy consumption, which amounted to 4342.3 kJ h/kg.

Keywords: *installation, infrared heating, grain, heat supply, conveyor belt, layer separators, drying.*

Для цитирования: Сутягин С.А., Агеев П.С., Карпенко Г.В., Павлущин А.А., Курдюмов В.И., Исследование установки с инфракрасным нагревом свинца // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 78-85. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-78-85.

For citation: Sutyagin S.A., Ageev P.S., Karpenko G.V., Pavluschin A.A., Kurdyumov V.I., Study of an installation with infrared heating of lead. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 78-85. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-78-85.

Введение. В настоящее время тепловое воздействие на зерно применяют во многих технологических процессах его переработки. Процессы сушки, обеззараживания, микронизации зерна соответственно направлены на снижение его влажности до значения, соответствующего ГОСТу, на увеличение сроков его хранения путем уничтожение вредных насекомых и микрофлоры, а также на повышение качества и питательной ценности. Тепловую обработку зерна применяют для изменения технологических и обеспечения потребительских свойств – это улучшение вкуса, запаха, цвета и других показателей [1, 2, 3]. Способы тепловой обработки зерна и средства механизации для их осуществления разнообразны. Одним из направлений развития тепловой обработки зерна является разработка средств механизации с инфракрасным электронагревом.

Материалы и методы. Для сушки и обеззараживания зерна в сельском хозяйстве применяют установки с инфракрасным модулем нагрева продукта, к которым относят установки ИСЛ-1, установки серии Агрохит (рисунок 1), сушилку Трин-Микс-1200 и другие [7].

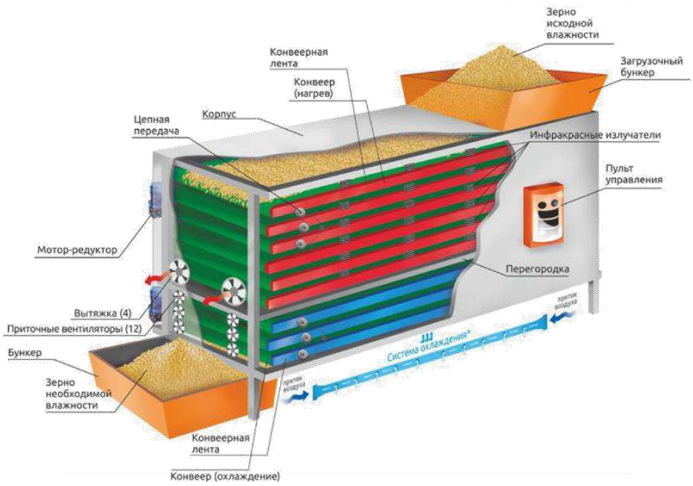


Рисунок 1 - Конвейерная зерносушилка Агрохит с инфракрасными излучателями

Пропускная способность таких установок при сушке зерна варьируется от 0,5 т/ч до 5 т/ч, но при работе в режиме обеззараживания зерна их пропускная способность не превышает 300 кг/ч.

Технические характеристики существующих установок с инфракрасным модулем нагрева зерна представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики существующих установок с инфракрасным модулем нагрева зерна

Марка установки	Параметры		
	Удельная металлоемкость, кг·ч/т	Удельная капиталоёмкость, тыс. руб.·ч/т	Удельные затраты энергии, кВт·ч/т
ИСЛ-1	800	2500	12
ИКСЗ	1600	1500	72
Агрохит	1800	4800	72
Трин-Микс-1200	1240	1290	54

Проанализировав приведенные в таблице 1 данные, можно отметить, что широко применяемые в настоящее время средства механизации тепловой обработки зерна имеют недостатки: высокую удельную металлоемкость, завышенную капиталоёмкость и большие удельные энергозатраты.

Поэтому разработка новых средств механизации с инфракрасным нагревом зерна, способных снизить удельные энергозатраты на процессы тепловой обработки, а также обеспечить ресурсосбережение, является актуальной и важной научно - технической проблемой. [3, 4, 5, 6].

Для решения указанной проблемы нами предложена установка с инфракрасным электронагревом зерна (рисунок 2).

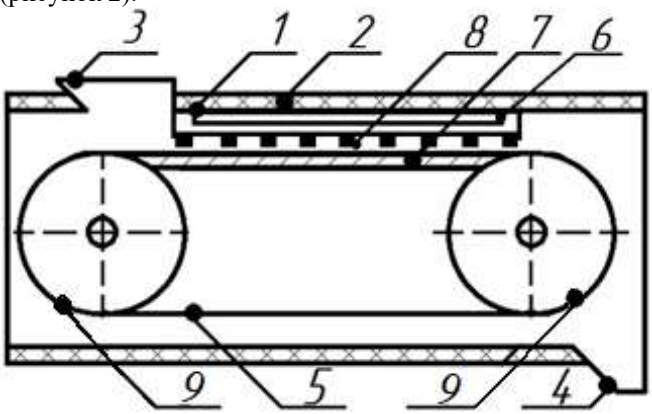


Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема предложенной установки с инфракрасным нагревом зерна: 1 – кожух установки; 2 – теплоизолирующий материал; 3 – бункер для загрузки зерна; 4 – лоток для выгрузки зерна; 5 – гибкая лента; 6 – инфракрасный нагреватель; 7 – пластина; 8 – разделители зернового слоя; 9 – барабаны

На рисунке 3 изображен вид сверху транспортирующего рабочего органа, представленного вращающейся на двух барабанах гибкой лентой, с разделителями зернового слоя.

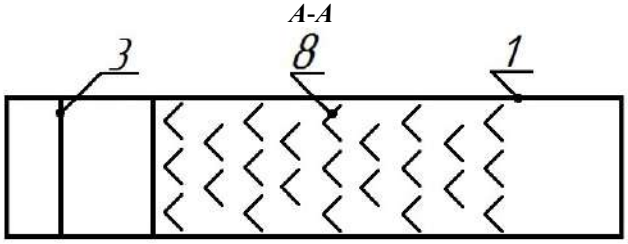


Рисунок 3 – Вид сверху транспортирующего рабочего органа

Предложенная установка для тепловой обработки зерна состоит из кожуха, внутренняя поверхность которого покрыта теплоизолирующим материалом. С одной стороны кожуха на верхней поверхности размещён бункер для загрузки зерна. С противоположной стороны кожуха в нижней его поверхности выполнен лоток для выгрузки зерна. Внутри кожуха горизонтально закреплена пластина, с противоположных сторон которой параллельно друг другу с возможностью вращения установлены два барабана, связанные между собой гибкой лентой. Верхняя ветвь гибкой ленты выполнена опирающейся на пластину. Над верхней ветвью гибкой ленты в шахматном порядке на минимальном расстоянии от нее установлены разделители зернового слоя. Разделители зернового слоя выполнены из двух прямоугольных пластин, установленных вертикально и соединенных между собой таким образом, что они образуют в плане острый угол. Разделители зернового слоя устанавливают так, чтобы их вершина острого угла была направлена противоположно направлению движения гибкой ленты.

Рассмотрим схему сил, действующих на единичную частицу зерна в направлении оси x при её соударении с разделителем зернового слоя (рисунок 4).

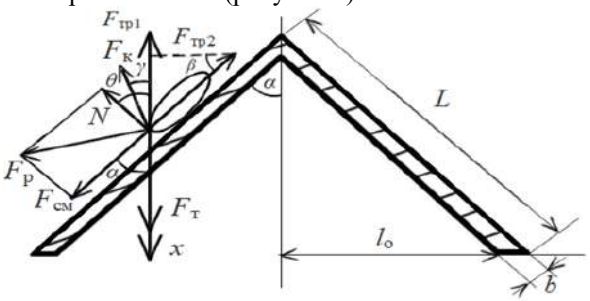


Рисунок 4 - Схема сил, действующих на частицу зерна при её соударении с разделителем зернового слоя: L – длина пластины, м; b – толщина пластины, м; $l_о$ – длина половины основания разделителя, м; $F_т$ - сила тяги рабочего органа, Н; $F_{тр1}$ – сила трения частицы о поверхность гибкой ленты, Н; $F_{см}$ - сила смещения частицы, Н; N - сила реакции пластины разделителя зернового слоя, при действии на неё рассматриваемой частицы, Н; $F_р$ - результирующая сила, Н; $F_{тр2}$ - сила трения частицы о поверхность разделителя зернового слоя, Н; $F_к$ - сила Кориолиса, Н; α - угол между осью x и силой $F_{см}$, град; β - угол между силой $F_{тр2}$ и нормалью к оси x, град; γ - угол между силой $F_к$ и осью x, град; θ – угол между силой $F_к$ и осью x

Направление оси x выберем совпадающим с направлением движения гибкой ленты транспортёра. Запишем сумму сил, действующих на частицу [9, 10, 11].

$$F_т + F_{см}\cos\alpha - F_{тр1} - N\cos\theta - F_{тр2}\sin\beta - F_к\cos\gamma = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) преобразуем и выразим из него силу $F_т$.

$$F_т = - ma_л\cos\theta + k_1N_1 + ma_ч\cos\alpha + k_2N_2\sin\beta + 2m\omega L\cos\gamma/t, \quad (2)$$

где: m – масса частицы, кг; $a_л$ – ускорение гибкой ленты, м/с^2; k_1 - коэффициент трения частицы о материал гибкой ленты; N_1 - реакция опоры при трении частицы о поверхность гибкой ленты, Н; $a_ч$ - ускорение частицы, движущейся вдоль поверхности гибкой ленты, м/с^2; k_2 - коэффициент трения частицы о разделитель зернового слоя; N_2 - реакция опоры при трении частицы о разделитель зернового слоя, Н; ω – угловая скорость вращения частицы вокруг своей оси, с$^{-1}$; t – время движения частицы по разделителю зернового слоя, с.

Из уравнения (2) вынесем массу частицы, в результате получим:

$$F_т = m(a_ч\cos\alpha - a_л\cos\theta + 2\omega L\cos\gamma/t) + k_1N_1 + k_2N_2\sin\beta. \quad (3)$$

Найдем силу тяги рабочего органа $F_т$ когда по поверхности разделителя зернового слоя движется количество частиц, равное $n_ч$, причём масса каждой частицы равна $m_{ср}$, кг.

Тогда:

$$F_т = n_ч m_{ср}(a_ч\cos\alpha - a_л\cos\theta + 2\omega L\cos\gamma/t) + k_1N_1 + k_2N_2\sin\beta + \Sigma F_{трч}. \quad (4)$$

где: $\Sigma F_{трч}$ – суммарная сила трения между частицами, Н.

За время нахождения зерна в установке каждая частица встречается с количеством разделителей $n_р$ зернового слоя.

Поэтому сила тяги рабочего органа $F_т$ будет равна:

$$F_т = n_р\,(n_ч m_{ср}(a_ч\cos\alpha - a_л\cos\theta + 2\omega L\cos\gamma/t) + k_1N_1 + k_2N_2\sin\beta + \Sigma F_{трч}) \quad (5)$$

Мощность, P, Вт, требуемую для непрерывного перемещения гибкой лентой зернового слоя через установку, можно определить по формуле (6):

$$P = F_т(n_р L + l_{рз})/t_1, \quad (6)$$

где $l_{рз}$ – расстояние между рядами разделителей зернового слоя, м; t_1 - время нахождения зерна в установке, с.

С учётом формулы (5) уравнение (6) примет вид:

$$P = n_р\,n_ч\,m_{ср}\,(a_ч\cos\alpha - a_л\cos\theta + 2\omega L\cos\gamma/t) + k_1N_1 + k_2N_2\sin\beta + \Sigma F_{трч})(n_р L + l_{рз})/t_1. \quad (7)$$

Пропускная способность предложенной установки Q, кг/ч, зависит от конструктивных параметров гибкой ленты, разделителей зернового слоя, а также от времени нахождения зерна в установке.

$$Q = 3600\gamma_з B_{гл} h_{рз}(n_р L + l_{рз})/t_1, \quad (8)$$

где: $\gamma_з$ - насыпная плотность зерна, кг/м^3; $B_{гл}$ – ширина гибкой ленты, м; $h_{рз}$ – высота разделителей зернового слоя, м.

С учётом уравнений (7) и (8), а также в соответствии с разработанной конструктивно-технологической схемой, создан экспериментальный образец установки с инфракрасным нагревом зерна (рисунок 5).

Рисунок 5 – Установка с инфракрасным нагревом зерна: 1 – рама установки; 2 – рабочая камера; 3 – привод гибкой ленты; 4 – регулятор температуры инфракрасного нагревателя; 5 – регулятор частоты вращения ведущего барабана рабочего органа

Результаты и их обсуждение. Исследование разработанной установки проводили в режиме сушки зерна. В качестве объекта исследования выбрали зерно пшеницы с исходной влажностью 18…19 %.

Сушку зерна в разработанной установки выполняли в соответствии с планом экспериментальных исследований (рисунок 6).

Рисунок 6 - План экспериментальных исследований разработанной установки с инфракрасным нагревом зерна

В качестве параметра оптимизации процесса сушки зерна выбраны суммарные удельные затраты энергии $\Sigma P_{экс}$, кДж·ч/кг, которые в ходе эксперимента определяли по формуле (9).

$$\Sigma P_{экс} = 3600(P + P_1)/Q_ф, \quad (9)$$

где: P_1 – мощность, потребляемая инфракрасным нагревателем, Вт; $Q_ф$ - фактическая пропускная способность установки, кг/ч.

При сушке зерна в разработанной установке с его инфракрасным нагревом наибольше влияние из действующих независимых факторов оказывают время сушки зерна t_1, с, и температура $t_{ин}$, ºС, создаваемая инфракрасным нагревателем внутри кожуха установки. В ходе экспериментальных исследований температуру $t_{ин}$ изменяли в диапазоне 40…80 ºС с шагом 5 ºС, а время сушки зерна изменяли в диапазоне 60…120 с с шагом 20 с. При этом определяли суммарные удельные затраты энергии, температуру нагрева зерна, а также процент снижения влажности зерна в каждом цикле эксперимента.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали, используя лицензированную программу Statistica 10. В ходе обработки полученных данных построен график (рисунок 7) и найдено уравнение (10), которые характеризуют влияние времени сушки зерна и температуры, создаваемой инфракрасным нагревателем, на суммарные удельные затраты энергии.

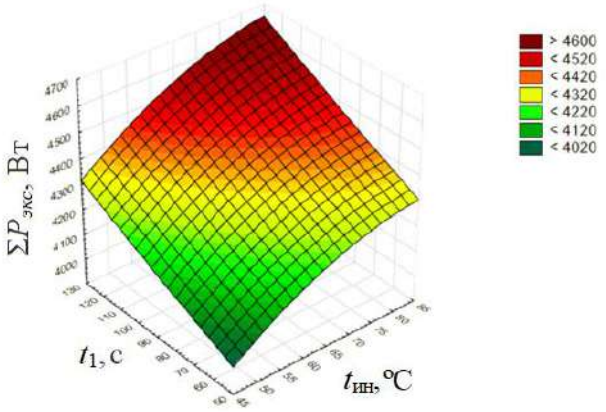


Рисунок 7 – Зависимость суммарных удельных затрат энергии от времени сушки зерна и температуры, создаваемой инфракрасным нагревателем внутри кожуха установки

$$\Sigma P_{экс} = 2949{,}52 + 26{,}44\, t_1 + 2{,}71\, t_{ин} - 0{,}15 t_1^2 + 0{,}013 t_{ин} t_1 - 0{,}0028 t_{ин}^2. \quad (10)$$

Решив уравнение (10), определили рациональные значения выбранных факторов. При этом время сушки зерна составило 100^0С, а температура, создаваемая инфракрасным нагревателем, равна 65^0С. Далее провели серию экспериментов на разработанной установке на указанных выше режимах. В каждом эксперименте делали замеры температуры нагрева зерна, определяли процент снижения влажности зерна и пропускную способность установки, а также фиксировали суммарные удельные затраты энергии. Температура нагрева зерна находилась в пределах 37…38,5 ºС, при этом влажности зерна снижалась на 2,56 %. Пропускная способность составила 800 кг/ч, а суммарные удельные затраты энергии, требуемые на сушку зерна в разработанной установке, составили 4342,3 кДж·ч/кг.

Заключение. В результате исследования разработанной установки с инфракрасным нагревом зерна определены рациональные значения выбранных независимых факторов процесса сушки зерна пшеницы: время сушки t_1 = 100 с, $t_{ин}$ = 65 ºС. При этом пропускная способность установки составляет 800 кг/ч, а суммарные удельные затраты энергии составили 4342,34 кДж·ч/кг. Качество сушки зерна удовлетворяло предъявляемым требованиям.

Сравнение разработанной установки для тепловой обработки зерна с серийно выпускаемыми средствами механизации показало, что экспериментальный образец имеет в 2,72 раза меньшую удельную металлоемкость, в 3,1 раза меньшую удельную капиталоёмкость, а также обеспечивает в 2,3 раза меньшие удельные затраты энергии на сушку зерна.

Список источников

1. Борхерт, Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 278 с.

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

3. Иванов, Б.Л. Пути снижения энергетических затрат при сушке зерна / Б.Л. Иванов, Б.Г. Зиганшин, И.Н. Сафиуллин // Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики: Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.э.н., профессора Н.С. Каткова. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 83-89.

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

5. Converse H.H. Transient heat transfer within stored in a cylindrical bin. Amer. Soc. Agr. Engrs., 2006. № 855. pp. 129-0133.

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

7. Козлов, Д.Г. Инфракрасная сушка зерна и зернопродуктов / Д.Г. Козлов, Н.А. Савишин, А.В. Калинин // Энергетика и информационные технологии: Сборник научных трудов / Ответственный редактор О.А. Пустовая. Выпуск 10. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. – С. 80-86.

8. Устройство для сушки зерна: патент 96467 Рос. Федерация. № 2010105281/22; заявл. 15.02.2010; опубл. 10.08.2010 г., Бюл. № 22.

9. Устройство для сушки зерна: патент 92603 Рос. Федерация. № 2009140702/22; заявл. 03.11.2009; опубл. 27.03.2010 г., Бюл. № 9.

10. Устройство для сушки зерна: патент 96468 Рос. Федерация. № 2010105283/22; заявл. 15.02.2010; опубл. 10.08.2010г., Бюл. № 22.

11. Tsottsas E. Modeling of contact dryers // Drying Technology. 2007. 25:1, pp. 1377-1391.

References

1. Borkhert, R. Tekhnika infrakrasnogo nagreva / R. Borkhert, V. Yubits. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1963. – 278 s.

2. Gulyayev, G.A. Avtomatizatsiya protsessov posleuborochnoy obrabotki i khraneniya zerna / G.A. Gulyayev. – M.: Agropromizdat, 1990. – 236 s.

3. Ivanov, B. L. Puti snizheniya energeticheskikh zatrat pri sushke zerna / B.L. Ivanov, B.G. Ziganshin, I.N. Safiullin // Razvitiye APK i sel'skikh territoriy v usloviyakh modernizatsii ekonomiki: Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati d.t.n., professora N.S. Katkova. – Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. – S. 83-89.

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

5. Converse H.H. Transient heat transfer within stored in a cylindrical bin. Amer. Soc. Agr. Engrs., 2006. № 855. pp. 129-0133.

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

7. Kozlov, D.G. Infrakrasnaya sushka zerna i zernoproduktov / D.G. Kozlov, N.A. Savishin, A.V. Kalinin // Energetika i informatsionnyye tekhnologii: Sbornik nauchnykh trudov / Otvetstvennyy redaktor O.A. Pustovaya. Tom Vypusk 10. – Blagoveshchensk: Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2017. – S. 80-86.

8. Ustroistvo dlya sushki zerna: patent 96467 Ros. Federatsiya. № 2010105281/22; zayavl. 15.02.2010; opubl. 10.08.2010 g., Byul. № 22.

9. Ustroistvo dlya sushki zerna: patent 92603 Ros. Federatsiya. № 2009140702/22; zayavl. 03.11.2009; opubl. 27.03.2010 g., Byul. № 9.

10. Ustroistvo dlya sushki zerna: patent 96468 Ros. Federatsiya. № 2010105283/22; zayavl. 15.02.2010; opubl. 10.08.2010g., Byul. № 22.

11. Tsottsas E. Modeling of contact dryers // Drying Technology. 2007. 25:1, pp. 1377-1391.

Информация об авторах

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

Information about the authors

S. Sutyagin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; P. Ageev – Candidate of Technical Sciences; G. Karpenko - candidate of technical sciences, associate professor; A. Pavlushin – Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Kurdyumov - Doctor of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.32
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-86-95

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Константин Николаевич Тишанинов
Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
TishaninovKN@rambler.ru

Автор, ответственный за переписку: Константин Николаевич Тишанинов, TishaninovKN@rambler.ru
Corresponding author: Konstantin Tishaninov, TishaninovKN@rambler.ru

Реферат. *Одним из основных способов разделения зернового вороха является пневмосепарирование на основе различия аэродинамических сопротивлений компонентов зерносмеси воздушному потоку. Дана классификация пневмосепарирующих устройств по следующим параметрам: способ циркуляции воздушного потока, количество сепарирующих каналов, способ использования систем, направление воздушного потока в сепарирующих каналах и камерах, способ подвода воздуха в зону пневмосепарации, кратность обработки, форма пневмосепарирующих каналов, способ подачи зерновой смеси в канал, тип устройств для выделения легких примесей, способ регулирования расхода воздуха в канале. Обобщены разработанные разными авторами формулы для коэффициента сопротивления частицы воздушному потоку. Установлены оптимальные размеры пневмоканала: глубина канала не должна превышать 200 мм, а ширина – 1500 мм. Установлено, что наиболее частая используемая форма пневмоканала - прямоугольная. Показано, что для ввода зернового материала в пневмоканал используются различные устройства: скатные доски, опорные сетки, рифленные валики, разбрасывающие диски, вибрационные, ленточные, пневматические, комбинированные устройства. По направлению воздушного потока различают сепараторы: вертикальные, наклонные, горизонтальные. Установлено, что для очистки воздуха от пыли обычно используют жалюзийные инерционные пылеуловители. Рассмотрены наиболее современные конструкции диаметральных вентиляторов. На основе выполненного анализа даны рекомендации разработчикам аспирационных систем: обеспечивать запас ширины пневмоканала так, чтобы с увеличением подачи зернового материала не уменьшалась эффективность воздушной очистки, но при этом не снижалась равномерность воздушного потока в пневмоканале.*

Ключевые слова: *аспирационная система, пневмоканал, диаметральный вентилятор.*

DESIGNS OF PNEUMATIC SEPARATION SYSTEMS ANALYSIS

Konstantin Tishaninov
ALL-Russian research Institute for the use of machinery and petroleum products in agriculture, Tambov, Russia
TishaninovKN@rambler.ru

Abstract. *One of the main methods of separating a grain heap is pneumatic separation based on the difference in the aerodynamic resistance of the components of the grain mixture to the air flow. A classification of pneumatic separating devices is given according to the following parameters: method of air flow circulation, number of separating channels, method of using systems, direction of air flow in separating channels and chambers, method of supplying air to the pneumatic separation zone, frequency of processing, shape of pneumatic separating channels, method of feeding grain mixture into the channel , type of devices for separating light impurities, method of regulating air flow in the channel. The*

formulas developed by different authors for the coefficient of particle resistance to air flow are generalized. The optimal dimensions of the pneumatic channel have been established: the depth of the channel should not exceed 200 mm, and the width should not exceed 1500 mm. It has been established that the most commonly used shape of the pneumatic channel is rectangular. It is shown that various devices are used to introduce grain material into the pneumatic channel: pitched boards, support nets, corrugated rollers, spreading discs, vibration, belt, pneumatic, and combined devices. According to the direction of the air flow, separators are distinguished: vertical, inclined, horizontal. It has been established that louvered inertial dust collectors are usually used to clean the air from dust. The most modern designs of cross-flow fans are considered. Based on the analysis performed, recommendations were given to developers of aspiration systems: to ensure a margin of pneumatic channel width so that with an increase in the supply of grain material, the efficiency of air cleaning does not decrease, but at the same time the uniformity of the air flow in the pneumatic channel does not decrease.

Keywords: *aspiration system, pneumatic channel, diametral fan.*

Для цитирования: Тишанинов К.Н. Анализ конструкций пневмосепарирующих систем // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 86-95. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-5-86-95.

For citation: Tishaninov K. Designs of pneumatic separation systems analysis. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 86-95. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-86-95.

Введение. Широко распространенным зерноочистительным машинам типа ЗВС-20А присущ следующий недостаток – ее аспирационная система сильно упрощена и выделяет только пыль. Производителям зерна приходиться дважды пропускать зерновой ворох через очистительную линию, чтобы добиться требуемого качества зерна. Необходимость создания новых зерноочистительных машин обусловлена также требованиями рынка. Для создания новой воздушно-решетной машины необходимо проанализировать современные модели зерно-семяочистительных машин, выявить основные тенденции развития и найти резервы повышения качества их работы. Поэтому анализ конструкций современных пневмосепарирующих систем является актуальным для разработчиков зерноочистительного оборудования.

Результаты и обсуждения. Одним из основных способов разделения зернового вороха является пневмосепарирование - разделение вороха по аэродинамическим свойствам. Преимущества этого способа заключаются в высокой удельной производительности, низком уровне травмирования семян, простоте конструкции рабочих органов, и является дополнением к решетному и триерному способам очистки зерна.

Разделение зернового вороха в пневмосепараторе основано на различие аэродинамических сопротивлений компонентов зерносмеси воздушному потоку. Аэродинамические свойства частиц потока зерна определяются коэффициентом сопротивления k и скоростью витания $v_{\text{в}}$. Скорость витания отдельной частицы можно определить из выражения [1]:

$$v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2gm}{k\rho_{\text{в}}S_{\text{м}}}}, \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

k – коэффициент сопротивления частицы воздушному потоку;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м^3;

$S_{\text{м}}$ – площадь миделева сечения, м^2.

Способность частицы сопротивляться воздушному потоку в общем случае определяется более сложно (зависит от режима движения воздушного потока, отдельных характеристик потока и т.д.), поэтому эту характеристику частицы различные авторы определяли по-разному (Таблица 1, [1]).

Таблица 1 – Коэффициенты аэродинамического сопротивления частицы потока зерна

Автор	Наименование коэффициента	Год публикации	Формула
В.Н. Хитрова	Коэффициент парусности	1912	$k_0 = \frac{F}{G}$ м^2/кг
В. Бреннер	Коэффициент полета	1928	$k_0 = \frac{G}{kF}$ кг/м^2
В.Я. Гиршсон	Коэффициент обтекания	1929	$k_0 = \frac{G}{0{,}124vF}$ кг $\cdot$ c/м^3
К.М. Барков	Коэффициент парусности	1935	$k_0 = \frac{kF\rho g}{G}$ 1/м^2
А.И. Лурье	Летный коэффициент	1937	$k_0 = \frac{kv^2}{G}\frac{\text{м}^2}{c^2 \cdot \text{кг}}$
Н.Н. Ульрих	Коэффициент удельной парусности	1937	$k = \frac{\gamma V}{kF}$ кг/м^2

Для определения оптимальной скорости разделения зерен основной культуры от зерновых и минеральных примесей используют вариационные кривые, которые отражают плотность распределения компонентов зерносмеси по признаку разделения. Состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную очистку, нельзя предопределить, но легкие примеси и часть фуражной фракции (мелкого, битого, дробленого зерна) легче зерен основной культуры, и их можно выделить восходящим воздушным потоком (Рисунок 1).

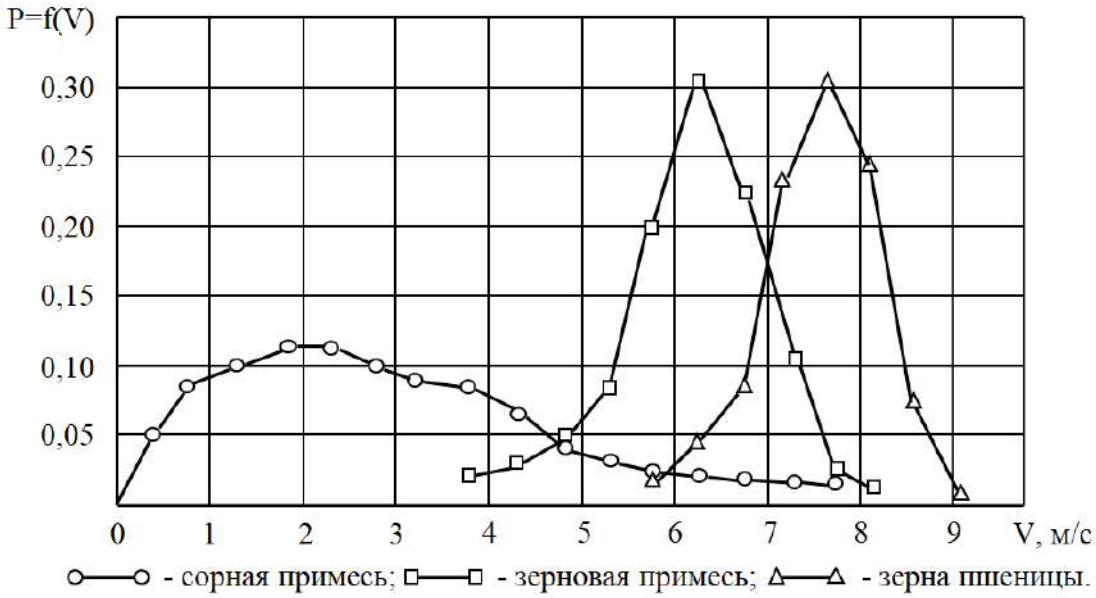


Рисунок 1 – Плотности распределения по скорости витания

Пневмосистемы отличаются по способу циркуляции воздушного потока, количеству сепарирующих каналов, способу использования систем, направлению воздушного потока в сепарирующих каналах и камерах, способу подвода воздуха в зону пневмосепарации, кратности обработки, форме пневмосепарирующих каналов, способу подачи зерновой смеси в канал, типу устройств для выделения легких примесей, способу регулирования расхода воздуха в канале (Таблица 2), и, как правило,-пневосепарирующая система состоит из:

- пневмоканала (одного или нескольких);

- устройства ввода зернового материала;
- устройства вывода примесей и пыли;
- осадочной камеры;
- пылеуловителя;
- вентилятора;
- соединительных элементов.

Таблица 2 – Классификация пневмосепарирующих устройств

Отличительный признак пневмосепарирующего устройства	**Значение признака пневмосепарирующего устройства**
Способ циркуляции воздушного потока	а) с замкнутым циклом воздуха б) с разомкнутым циклом воздуха в) с замкнуто-разомкнутым циклом воздуха
Количество сепарирующих каналов	а) с одним каналом б) с двумя каналами в) многоканальный
Способ использования систем	а) централизованные системы б) самостоятельные системы в) сложные системы (воздушно-решетные системы в зерно- и семяочистительных машинах)
Направление воздушного потока в сепарирующих каналах и камерах	а) вертикальное б) горизонтальное в) наклонное
Способ подвода воздуха в зону пневмосепарации	а) с всасывающим потоком воздуха б) с нагнетательным потоком воздуха в) с нагнетательно-всасываемым потоком воздуха
Кратность обработки	а) однократная б) двухкратная в) многократная
Форма пневмосепарирующих каналов	а) круглая б) кольцевая в) квадратная г) прямоугольная
Способ подачи зерновой смеси в канал	а) вибролотком б) клапаном в) шнековым питателем г) бункерным питателем д) дисковым питателем
Тип устройств для выделения легких примесей	а) осадочные камеры б) жалюзийные пылеуловители в) циклонные пылеуловители
Способ регулирования расхода воздуха в канале	а) дросселирование б) подвод части атмосферного воздуха

Разделение зернового материала воздушным потоком происходит в пнемоканале (его устройство показано на рисунке 2). Пневмоканал характеризуется следующими параметрами: глубиной (D), шириной (B), высотой подачи зернового материала (H_2), высотой канала (H_1), формой, наклоном.

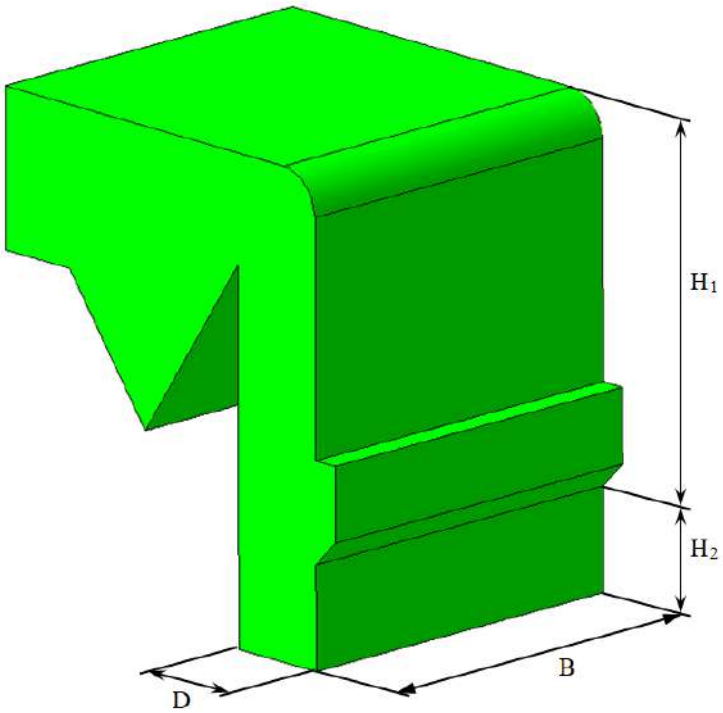
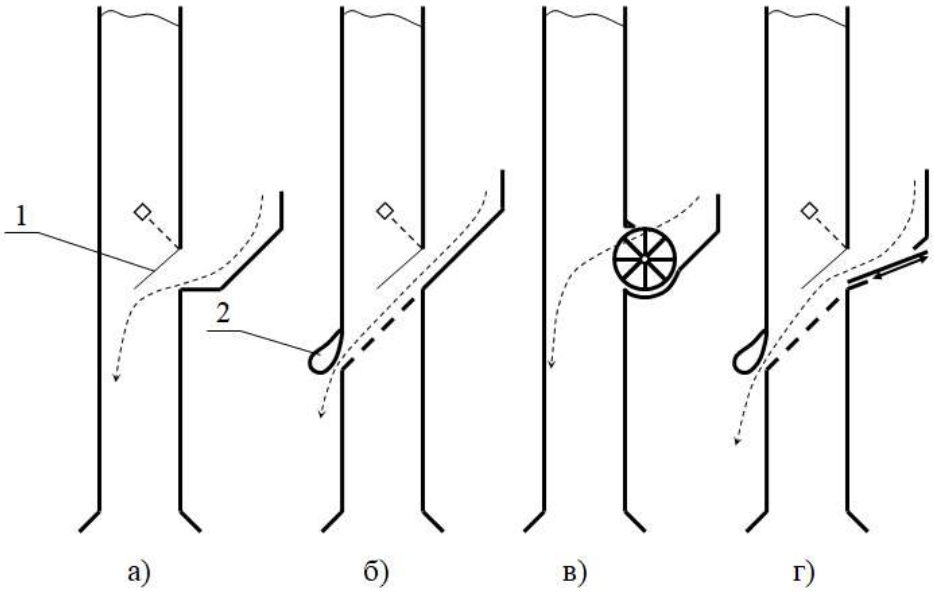


Рисунок 2 – Устройство пневмоканала

По направлению воздушного потока сепараторы различают: вертикальные, наклонные, горизонтальные. Горизонтальные пневмосепараторы обладают низкой четкостью разделения зерносмеси и используются достаточно редко. Эффективность очистки вертикальными и наклонными сепараторами зависит от совокупности факторов, поэтому нет точных рекомендаций по выбору вертикального или наклонного пневмоканала.



1 – клапан; 2 – уплотнительный козырек.
Рисунок 3 – Устройства ввода зерна в пневмоканал

Для ввода зернового материала в пневмоканал используются различные устройства (скатные доски, опорные сетки, рифленные валики, разбрасывающие диски, вибрационные, ленточные, пневматические, комбинированные), которые можно условно разделить на активные и пассивные [4].

Наиболее простой способ ввода зерна в пневмоканал осуществляется скатной доской (Рисунок 3а). Параметры скатной доски (угол наклона, длина, высота падения зерна на скатную доску) определяют скорость ввода зерна в пневмоканал. А.Б. Демский и В.Ф. Веденьев рекомендуют оптимальную скорость ввода зерна – 0,2…0,5 м/с [2]. Несмотря на простоту конструкции, скатные доски не обеспечивают равномерную подачу зерна по ширине канала и их трудно перенастраивать при смене культуры. Поэтому скатные доски зачастую применяют вместе с опорной сеткой (Рисунок 3б).

Опорные сетки позволяют увеличить время сепарации зернового материала в пневмоканале и применяются достаточно широко (ОПС-2, СП-2У-Р). Размер отверстия сетки должен быть таким, чтобы в нем не застревали зерна. Опорная сетка создает дополнительное сопротивление, но при этом помогает выровнить воздушный поток в пневмоканале. Скатные доски и опорная сетка являются пассивными устройствам ввода, к активным относятся питающий валик и вибролоток.

Питающие валики (Рисунок 3в) различаются материалом изготовления (пластмассовые, стальные, щеточные), числом лопаток, формой (цилиндрические, эллипсойдные), направлением подачи (верхней, нижней). Они просты в изготовлении и позволяют задавать начальную скорость ввода зерна в пневмоканал.

Вибролоток (РЗ-БАБ, У1-БСЗ, У1-ППС, ПА-20) позволяет подготовить зерновой материал к подаче так, чтобы легкие примеси в результате самосортирования оказались на поверхности, но из-за низкой начальной скорости ввода зерна в пневмоканал вибролоток должен укомплектовываться опорной сеткой.

Герметичность пневмоканала поддерживают за счет клапанов или уплотнительных козырьков. Клапаны не способны регулировать подачу при изменении нагрузки, поэтому более надежным способом герметизации пневмоканала в местах ввода и вывода зернового материала являются уплотнительные козырьки, рисунок 4.

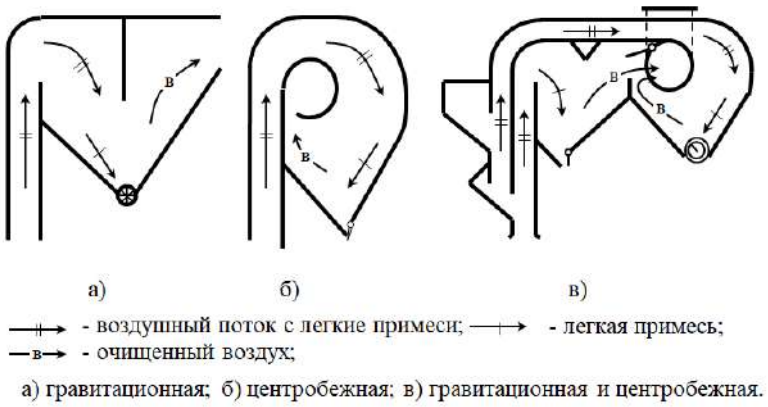
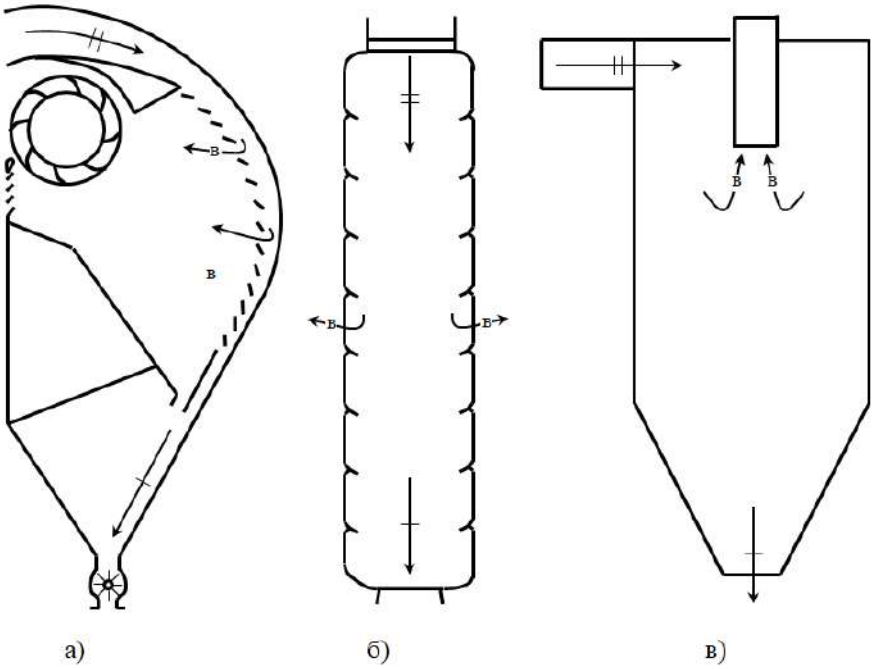


Рисунок 4 – Схемы осадочных камер

После очищения зернового вороха восходящим воздушным потоком в пневмоканале от легких примесей, в дальнейшем необходимо очистить воздушный поток от легких примесей. Для этого используются гравитационные и центробежные осадочные камеры. В осадочной камере скорость воздушного потока уменьшается до 1,0…1,6 м/с, в результате чего под действием гравитационных и центробежных сил легкие примеси выделяются из воздушного потока (Рисунок 4).

Для очистки воздуха от пыли обычно используют жалюзийные инерционные пылеуловители (Рисунок 5а). Они обладают низким аэродинамическим сопротивлением (300…1000 Па) и приемлемым уровнем очистки (70…95%). Конструкция жалюзийных пылеуловителей позволяет

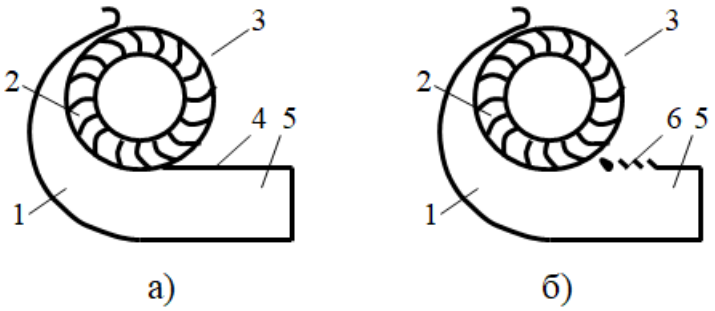
использовать их в замкнутых пневмосистемах. При разомкнутой схеме пневмосистемы обычно используют тканевые или циклонные пылеуловители (Рисунок 5б, 5в). Тканевые фильтры обладают наибольшим уровнем очистки (99…100%), но при этом большим аэродинамическим сопротивлением (1000 Па и более) и высокой трудоемкостью обслуживания. Циклоны применяются ограниченно из-за их высокого аэродинамического сопротивления (1200 Па) при степени очистки (92…97%).



а) инерционный (ПС-15); б) тканевый (СП-2У-Р); в) циклон.

Рисунок 5 – Схемы пылеуловителей

В существующих зерноочистительных агрегатах применяют центробежные и диаметральные вентиляторы. Центробежные вентиляторы имеют более высокий коэффициент полезного действия, но не обеспечивают достаточную равномерность воздушного потока по ширине канала, поэтому более широко используются диаметральные вентиляторы (Рисунок 6), которые создают равномерный плоскопараллельный поток.



1 – корпус; 2 – колесо; 3 – входное отверстие; 4 – смежная стенка; 5 – выходной канал; 6 – жалюзи.

Рисунок 6 – Схемы диаметральных вентиляторов

Для улучшения аэродинамических свойств Н.П. Сычуговым, Н.И. Грабельковским, А.И. Бурковым, Н.В. Жолобовым, В.В. Антюхиным, А.А. Гетхеманом было предложено прямолинейную смежную стенку 4 выполнять в виде жалюзийной решетки 6 (Рисунок 6б). Это позволило уменьшить уровень шума и увеличить диапазон устойчивой работы вентилятора.

Конструкции диаметральных вентиляторов постоянно совершенствуются, и они представлены многими отечественными разработками (Рисунок 7) [13 - 20].

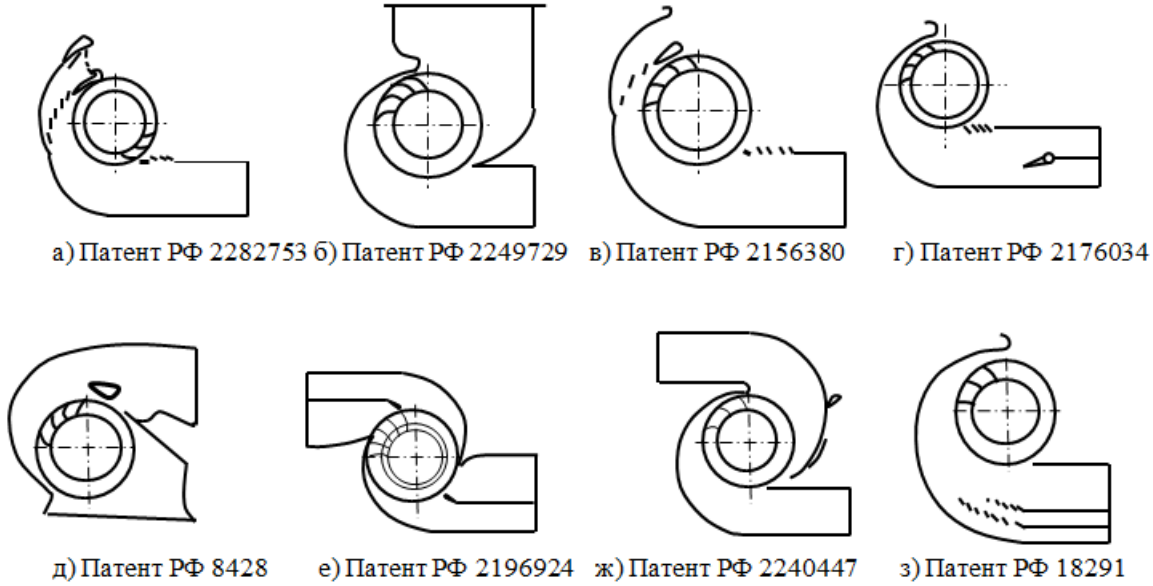


Рисунок 7 – Схемы диаметральных вентиляторов

К недостаткам пневмосепарирующих систем можно отнести малое время сепарации и постоянство размеров пневмоканала, что отрицательно сказывается на эффективности воздушной очистки при увеличении подачи зернового материала в пневмосистему. Поэтому, при проектировании аспирационной системы необходимо обеспечивать запас ширины пневмоканала так, чтобы с увеличением подачи зернового материала не уменьшалась эффективность воздушной очистки, но при этом не снижалась равномерность воздушного потока в пневмоканале.

Выводы. Проведенный анализ пневмосепарирующих систем позволил выявить резервы улучшения аэродинамических показателей зерноочистительных машин, основные тенденции их развития и на основе созданной классификации выбирать эффективные компоновочные решения.

Список источников

1. Тиц З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян // Москва, - 1967 г.

2. Конышев Н.Л. Повышение эффективности функционирования замкнутого пневмосепаратора путем совершенствования основных рабочих органов // Дис. канд. техн. наук. Киров, 2000 – 202 с.

3. Матвеев А.С. К выбору формы поперечного сечения пневмосепарирующего канала // Тракторы и сельхозмашины, 1971, №9, с. 26-28.

4. Пашинова Н.В. Совершенствование процесса сепарации зерна в вертикальныхпневмоканалах // Дис. канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2013 –142 с.

5. Туров А.К. Пневмосепарация зерна в вертикальном канале с подготовкой в струйном плоскопараллельном потоке // Дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 1984 –185 с.

6. Мухачёв В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента. Томск, 2007 – 119 с.

7. Гусев В.Г. Теория планирования многофакторных экспериментов // Метод. указания к лаб. работам. – Владим. Гос. ун-т. Владимир, 2007, с.

8. Барков К.М. Основные элементы сепарирования семян воздушным потоком // Труды ВИМ. – М.: ВИМ, 1935. – Т.1.

9. Хамуев В.Г. Обоснование параметров глубокого пневмосепарирующего канала для очистки семян от трудноотделимых примесей // Дис. канд. техн. наук. – М., 2008. – 150 с.

10. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. Москва, 1980.

11. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. – М; Л., 1955. – 764 с.

12. Корнеев С.В. Интенсификация рабочего процесса зерноочистительной машины предварительной очистки путем фракционирования зернового материала //Дис. канд.техн. наук. Киров, 2002.

13. Саитов В.Е., Гатауллинг Р.Г. / Патент RU № 2282753 C1 Российская Федерация, МПК F04D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 2004135688/06, 06.12.2004. Опубликовано: 27.08.2006 Бюл. № 24.

14. Бурков А.И. / Патент RU № 2249729 C1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 2003128572/06, 23.09.2003. Опубликовано: 10.04.2005 Бюл. № 10.

15. Болотов А.К., Саитов В.Е., Гатауллин Р.Г. /Патент RU № 2156380 C1 Российская Федерация, МПК F04D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 99106717/06, 1999.03.29. Опубликовано: 2000.09.20.

16. Сычугов Н.П., Жолобов Н.В., Корнеев С.В. / Патент RU № 2176034 C1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 2000106273/06, 2000.03.13. Опубликовано: 2001.11.20.

17. А.Г. Коровкин, В.Б. Кузнецов, И.О. Керстен, А.Ю. Голубев, В.А. Матвеев, В.А. Воробьев / Патент RU №8428 U1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 31.07.1997. Опубликовано: 16.11.1998.

18. Сычугов Н.П., Сычугов Ю.В. / Патент RU № 2196924 C1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Диаметральный вентилятор // Заявка: 2001110155/06, 2001.04.13. Опубликовано: 2003.01.20.

19. Саитов В.Е. / Патент RU № 2240447 C1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Прямоточный диаметральный вентилятор // Заявка: 2003103800/06, 2003.02.10. Опубликовано: 2004.11.20.

20. Сычугов Н.П., Саитов В.Е. / Патент RU № 18291 U1 Российская Федерация, МПК F 04 D 17/04. Диаметральный вентилятор-сепаратор // Заявка: 2000131134/20, 2000.12.13. Опубликовано: 2001.06.10.

References

1. Tic Z.L. Machines for post-harvest in-line processing of seeds // Moscow, - 1967

2. Konyshev N.L. Improving the efficiency of functioning of a closed pneumoseparator by improving the main working bodies // Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Kirov, 2000 – 202 p.

3. Matveev A.S. On the choice of the shape of the cross-section of the pneumoseparating channel // Tractors and agricultural machines, 1971, No. 9, pp. 26-28.

4. Pashinova N.V. Improving the process of grain separation in vertical pneumatic channels // Dis. Candidate of Technical Sciences.Ulan-Ude, 2013 -142 p.

5. Turov A.K. Pneumoseparation of grain in a vertical channel with preparation in a jet plane-parallel flow // Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Novosibirsk, 1984 -185 p.

6. Mukhachev V.A. Planning and processing of experimental results. Tomsk, 2007 – 119 p.

7. Gusev V.G. Theory of planning multifactorial experiments // Method. instructions to the lab. works. – Vladim. Gos. un-T. Vladimir, 2007, p

. 8. Barkov K.M. Basic elements of separation of seeds by air flow // Proceedings of VIM. – M.: VIM, 1935. – T.1.

9. Khamuev V.G. Substantiation of parameters of a deep pneumoseparating channel for cleaning seeds from difficult–to-separate impurities // Dis. candidate of Technical Sciences. - M., 2008. – 150 p.

10. Gortinsky V.V., Demsky A.B., Boriskin M.A. Separation processes at grain processing enterprises. Moscow, 1980.

11. Letoshnev M.N. Agricultural machines. – M; L., 1955. – 764 p.

12. Korneev S.V. Intensification of the working process of a grain cleaning machine of preliminary cleaning by fractionation of grain material //Dis. Candidate of Technical Sciences. Kirov, 2002.

13. Saitov V.E., Gataulling R.G. / Patent RU No. 2282753 C1 Russian Federation, IPC F04D 17/04. Diametral fan // Application: 2004135688/06, 06.12.2004. Published: 27.08.2006 Byul. No. 24.

14. Burkov A.I. / Patent RU No. 2249729 C1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Diametral fan // Application: 2003128572/06, 09/23/2003. Published: 10.04.2005 Byul. No. 10.

15. Bolotov A.K., Saitov V.E., Gataullin R.G. /Patent RU No. 2156380 C1 Russian Federation, IPC F04D 17/04. Diametral fan // Application: 99106717/06, 1999.03.29. Published: 2000.09.20.

16. Sychugov N.P., Zholobov N.V., Korneev S.V. / Patent RU No. 2176034 C1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Diametral fan // Application: 2000106273/06, 2000.03.13. Published: 2001.11.20.

17. A.G. Korovkin, V.B. Kuznetsov, I.O. Kersten, A.Y. Golubev, V.A. Matveev, V.A. Vorobyev / Patent RU No.8428 U1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Diametral fan // Application: 31.07.1997. Published: 16.11.1998.

18. Sychugov N.P., Sychugov Yu.V. / Patent RU No. 2196924 C1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Diametral fan // Application: 2001110155/06, 2001.04.13. Published: 2003.01.20.

19. Saitov V.E. / Patent RU No. 2240447 C1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Direct-flow diametral fan // Application: 2003103800/06, 2003.02.10. Published: 2004.11.20.

20. Sychugov N.P., Saitov V.E. / Patent RU No. 18291 U1 Russian Federation, IPC F 04 D 17/04. Diametral fan separator // Application: 2000131134/20, 2000.12.13. Published: 2001.06.10.

Информация об авторах

К. Н. Тишанинов – кандидат технических наук.

Information about the authors

K. Tishaninov – Candidate of Technical Sciences.

Поступила в редакцию (Received): 17.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-96-103

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА БЕЗ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИИ ПРОМЫВКИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА

Александр Викторович Кошелев [1]***, Валерий Васильевич Остриков*** [2]***,***
Алла Владимировна Забродская [3]***, Виктор Сергеевич Вязинкин*** [4]
[1,2,3,4] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов. Россия*
[2] viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Автор ответственный за переписку: Валерий Васильевич Остриков, viitinlab8@bk.ru
Corresponding author: Valery Ostrikov, viitinlab8@bk.ru

Реферат. *Представлены результаты исследований по оценке свойств масел по удалению загрязнений из системы смазки при регламентной замене моторных масел в двигателях тракторов. Установлено, что при сливе отработанного моторного масла часть загрязнений остаётся в системе смазки и отрицательно влияет как на работу двигателя, так и срок службы свежезаправленного моторного масла. Получены зависимости изменения содержания механических примесей, смолистых отложений, щелочного и кислотного числа от наработки. Установлено, что щелочное число масла за период наработки двигателя может снижаться с 8,7 мг КОН/г до 2,0 мг КОН/г и достигать браковочного значения к 250 часам работы масла в двигателе. Рассмотрено влияние операции промывки системы смазки промывочным маслом Лукойл на минеральной основе двигателей тракторов МТЗ-1221. Операция промывки позволила снизить за тот же период наработки накопление примесей на 20…30 % и с 9,8 % до 0,7 % снизить накопление смолистых отложений в моторном масле. Удаление загрязнений из системы смазки снижает расход присадок, их угар в моторных маслах, выпадение в осадок вместе с загрязнениями. На период наработки 250 часов содержание щелочного числа составляло 4,9 мг КОН/г, в то время как за тот же период наработки без промывки системы смазки приблизилось к браковочному значению. Удаление загрязнений стабилизирует изменение кислотного числа масла. В целом отмечается, что проведение операции промывки системы смазки двигателей тракторов может повышать их эксплуатационные показатели и увеличивать срок службы моторного масла до его замены.*

Ключевые слова: *моторное масло, двигатель, система смазки, промывочное масло, содержание примесей, срок службы до замены.*

RESULTS OF STUDIES TO ASSESS CHANGES IN THE PROPERTIES OF MOTOR OIL WITHOUT AND WITH THE USE OF FLUSHING THE TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM

Alexander Koshelev [1]***, Valery Ostrikov*** [2]***, Alla Zabrodskaya*** [3]***, Viktor Vyazankin*** [4]
[1,2,3,4] *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[2] viitinlab8@bk.ru , https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Abstract. *The results of studies assessing the properties of oils for removing contaminants from the lubrication system during routine replacement of motor oils in tractor engines are presented. It has been established that when used motor oil is drained, some of the contaminants remain in the lubrication system and negatively affect both engine operation and the service life of freshly filled motor oil.*

Dependences of changes in the content of mechanical impurities, tar deposits, alkaline and acid numbers on operating time were obtained. It has been established that the alkaline number of the oil during the engine operating period can decrease from 8.7 mg KOH/g to 2.0 mg KOH/g and reach the rejection value by 250 hours of oil operation in the engine. The influence of the operation of flushing the lubrication system with Lukoil mineral-based flushing oil in MTZ-1221 tractor engines is considered. The flushing operation made it possible to reduce the accumulation of impurities by 20...30% over the same operating period and to reduce the accumulation of tar deposits in the engine oil from 9.8% to 0.7%. Removing contaminants from the lubrication system reduces the consumption of additives, their waste in motor oils, and precipitation along with contaminants. For an operating period of 250 hours, the alkaline number content was 4.9 mg KOH/g, while over the same operating period without flushing the lubrication system it approached the rejection value. Removing contaminants stabilizes the change in oil acid number. In general, it is noted that carrying out the operation of flushing the lubrication system of tractor engines can improve their performance and increase the service life of the engine oil before it is replaced.

Keywords: *motor oil, engine, lubrication system, flushing oil, impurity content, service life before replacement.*

Для цитирования: Кошелев А.В., Остриков В.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С. Результаты исследований по оценке изменения свойств моторного масла без и с использованием операции промывки системы смазки двигателя трактора // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 65, № 5. С. 96-103. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-96-103.

For citation: Koshelev A., Ostrikov V., Zabrodskaya A., Vyazankin V. Results of studies to assess changes in the properties of motor oil without and with the use of flushing the tractor engine lubrication sustem // *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 96-103. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-96-103.

Введение. Моторное масло в процессе работы в двигателях тракторов загрязняется механическими примесями, продуктами сгорания топлива и продуктами старения[1,2,3,4,5]. Согласно принятой схеме эксплуатации тракторов и их технического обслуживания через 250 – 300 мото –часов наработки отработавшее свой срок моторное масло меняется на свежее. Перед заменой масла, после слива отработанного рекомендуется осуществлять промывку системы смазки [6,7]. По факту данная операция практически не проводится в силу объективных и субъективных причин. ФГБНУ ВНИИТиН проведены исследования по оценке влияния отказа о проведения операции промывки системы смазки, влияния ее на изменение основных физико – химических характеристик масла, срок его службы до замены. Получены зависимости изменения свойств масла от наработки двигателя в различных условиях эксплуатации[8,9].

Методика проведения исследований. Исследования проводились в реальных условиях эксплуатации тракторов. Под наблюдением находились два трактора из серии МТЗ, одного года начала эксплуатации, практически одинакового технического состояния на момент проведения испытаний.

В качестве рассматриваемого образца масла принималось товарное масло М-10ДМ. По достижению наработки 250 часов отработанное масло сливалось из картеров двигателей тракторов. В одном варианте отработанное масла сливалось из картера двигателя и сразу заправлялось товарное масло. В другой машине после слива отработанного масла проводилась промывка системы смазки специальным промывочным маслом с предварительным удалением загрязнений из центрифуги. Промывка системы смазки проводилась в течение 20 минут. После чего в картер двигателя заправлялось свежее моторное масло, и трактора работали в обычном режиме эксплуатации. Через каждые 50 часов наработки из картера двигателя отбиралась проба масла для определения в лабораторных условиях вязкости кинематической, щелочного и кислотного числа масла, температуры вспышки, содержания механических примесей, смол.

На основании полученных данных делалось заключение об эффективности работы масла, сроке его службы до замены.

Результаты и их обсуждение. Как известно, моторное масло М-10ДМ обладает более высокими противоизносными и моющими свойствами по сравнению с маслом М-10$Г_2$. В настоящее время инженерные службы хозяйств при приобретении масел отдают предпочтению маслу М-10ДМ несмотря на более высокую цену масла. Щелочное число масла М-10$Г_2$ составляет 6 мг КОН/г, а щелочное число масла М-10ДМ – более 9 мг КОН/г, что косвенно подтверждает более высокие моющие свойства последнего. К моменту слива отработавшего свой срок моторного масла и М-10$Г_2$ и М-10ДМ щелочное число находится в интервале 1,5 – 3,0. После слива отработанного моторного масла незначительная его часть, находящаяся в масляных каналах и на дне картера попадает в свежезаправленное масло. Смешивание, как правило, практически не влияет на показатель щелочного числа масла, однако эффективность моющего действия заправленного свежего моторного масла ставит много вопросов.

Рассмотрим влияние технологического процесса промывки системы смазки на срок службы моторного масла на основе анализа основных физико – химических характеристик. На рисунке 1 представлена зависимость изменения содержания механических примесей в моторном масле М-10ДМ от момента заправки до слива из картера двигателя.

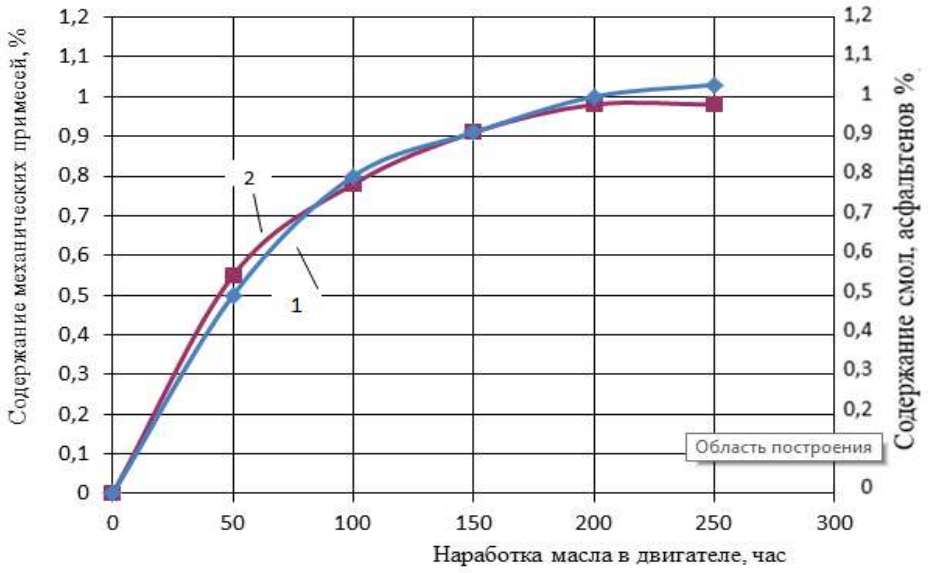


Рисунок 1 - Зависимость изменения содержания механических примесей и смолистых загрязнений в моторном масле М-10ДМ от наработки

Установлено, что максимальное накопление механических примесей в моторном масле наблюдается в первые 50…100 часов наработки двигателя (линия 1, рисунок 1). Аналогично изменяется и содержание нерастворимого осадка, смол (линия 2).

Данные факты подтверждают известные закономерности, в том числе высокие моющие свойства свежезаправленного масла [10,11]. Масло по двум данным параметрам приблизилось к браковочным значениям и требует замены для предупреждения повышенного износа и ухудшения эксплуатационных характеристик ДВС трактора.

Свежезаправленное моторное масло смывает отложения, оставшиеся в системе смазки. Анализ изменения щелочного числа моторного масла корреспондируется с широко известными данными о его снижении по мере работы масла в двигателе. На рисунке 2 представлены зависимости изменения щелочного числа масла от наработки в двигателе. Определено, что щелочное число масла изменялось практически линейно, уменьшаясь в зависимости от наработки двигателя и к 250 часам составляло 2,5 мг КОН/г.

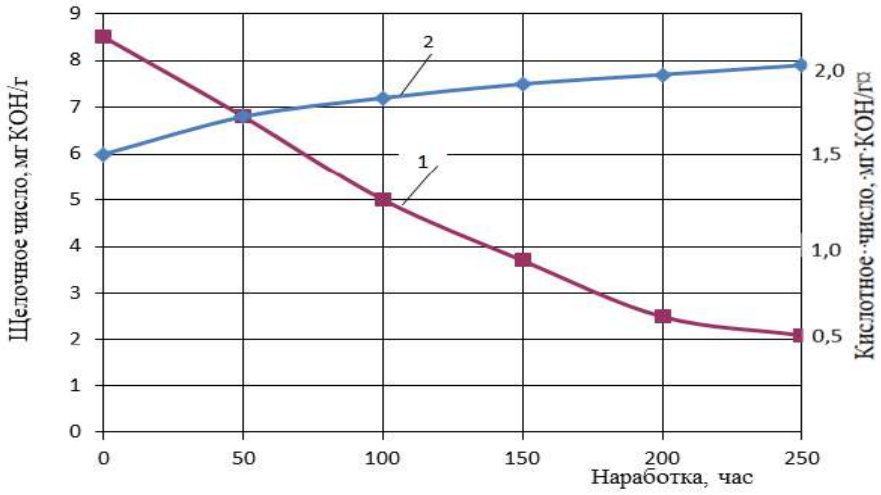


Рисунок 2 - Зависимость изменения содержания щелочного и кислотного числа масла от наработки ДВС: 1 – щелочное число масла; 2 – кислотное число

Полученные значения свидетельствуют о снижении запаса эксплуатационных свойств моторного масла и необходимости его замены. В реальных условиях эксплуатации, когда двигатель имеет определенную степень износа, увеличенный угар и соответственно долив свежего масла, значения щелочного числа масла может отличаться от полученных значений в 1,5 – 2 раза.

Однако при рассмотрении необходимости замены отработавшего масла необходимо пользоваться не единичным показателем состояния и свойств масла. В данном случае, например, степенью загрязненности масла и щелочного числа. То есть при периодическом доливе угоревшего масла возможно высокое значение щелочного числа 4 – 5 мг КОН/г, а содержание загрязнений превышает 1 %, что говорит о необходимости его замены. Далее рассмотрим влияние операции промывки системы смазки после слива отработанного масла, перед заправкой товарного, с последующим анализом изменения физико – химических характеристик моторного масла М-10ДМ.

После слива отработанного моторного масла из картера двигателя трактора МТЗ-1221 осуществлялась разборка и очистка центрифуги системы очистки масла, проводилась её сборка и установка. В картер двигателя заправлялось минеральное промывочное масло «Лукойл». Двигатель запускался и работал на холостом ходу в течение 20 минут. Далее двигатель останавливался, проводился слив промывочного масла.

Анализ содержания загрязнений в товарном промывочном масле и масле после проведения операции промывки показал, что содержание загрязнений изменилось с 0 до 0,23 %. Масло изменило цвет с желтого прозрачного до чёрного.

В результате рассмотрения пробы промывочного масла под микроскопом при увеличении в 1000 раз наблюдались загрязнения различного дисперсного состава от 1 до 100 мкм и более. Количество мелкодисперсных частиц на порядок преобладало над количеством крупных частиц 100 мкм и более.

В первом приближении можно отнести частицы 1-5 мкм к смолам, продуктам сгорания топлива, присутствующим в остаточных отложениях системы смазки и смытых при промывке системы смазки. После промывки системы смазки в картер двигателя заправлялось моторное масло, и двигатель работал в аналогичных режимах (что и в случае без промывки) эксплуатации с периодическим отбором проб масла для анализа характеристик.

На рисунке 3 представлена зависимость изменения содержания механических примесей, осадка от наработки.

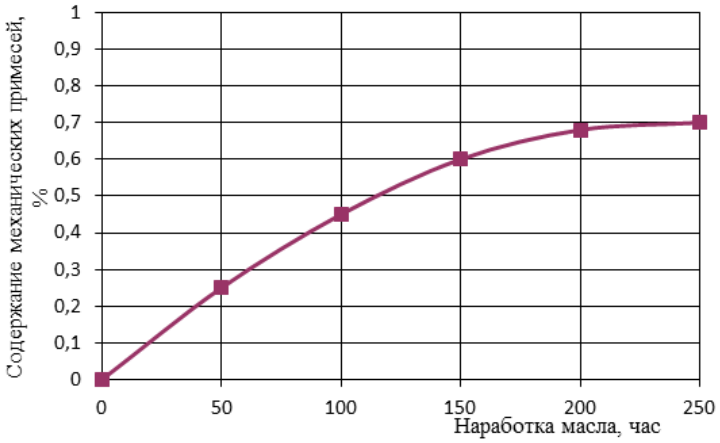


Рисунок 3 - Зависимость изменения содержания механических примесей в моторном масле от наработки

Установлено, что содержание механических примесей в моторном масле после проведения операции промывки системы смазки к 50 часам наработки двигателя составляло 0,25 % по сравнению с 0,47 %, где масло заправлялось в загрязненную систему. Можно утверждать, что большая часть примесей – остаточные загрязнения от предыдущей эксплуатации двигателя. Данное предположение подтверждается и анализом нерастворимого осадка в масле, смол (рисунок 4).

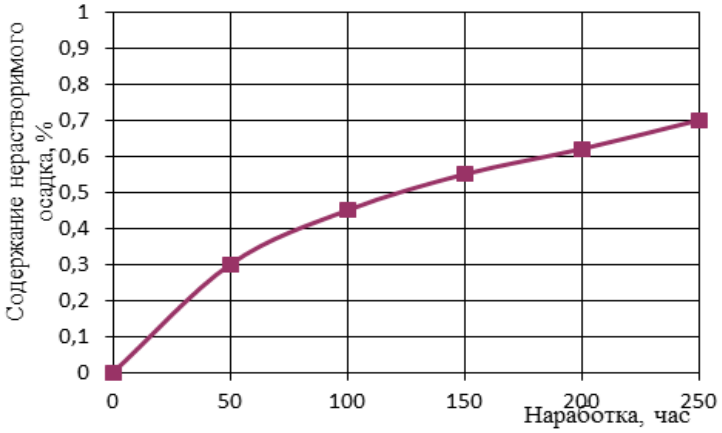


Рисунок 4 - Зависимость изменения содержания примесей (смол, асфальтенов, продуктов окисления) в масле от наработки двигателя

В результате анализа полученных данных отмечается, что промывка системы смазки, в том числе и от отложений на дне картера, масляных каналов позволяет снизить содержание примесей в масле до 0,7 % к моменту наработки 250 часов, то есть на 30 %.

По сравнению с технологией замены масла с промывкой системы смазки работавшее 50 часов масло имело темно – коричневый вид на щупе, в то время как в первом случае цвет был черным, не просвечивающийся на щупе. На данном этапе исследований и анализа об эффективности работы масла уже можно прогнозировать увеличение срока службы масла до замены.

Представляет научный и практический интерес эксплуатации технического средства после промывки системы смазки двигателя и изменения содержания присадок с точки зрения их ресурсных возможностей.

На рисунке 5 показана зависимость изменения щелочного числа моторного масла в двигателе машины за период эксплуатации 0 – 250 часов с предварительной промывкой системы смазки от загрязнений.

Установлено, что операция промывки позволяет снизить «напряженность» работы двигателя, расход присадок, в том числе моющих. Уменьшить отчасти угар компонентов присадок, в том числе вероятно за счет повышения компрессии в ЦПГ, снижения сопротивления прохода масла по масляным каналам.

Полученный результат позволяет утверждать о повышении эксплуатационных свойств двигателя и продлении срока службы масла до 300 и более часов.

Товарные моторные масла М-10ДМ имеют повышенное кислотное число по сравнению с маслом М-10$Г_2$, за счет состава присадок, обеспечивающего более высокие противоизносные и моющие свойства масла.

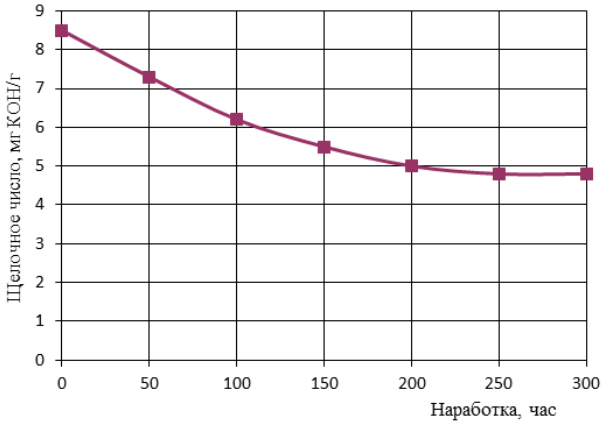


Рисунок 5 - Зависимость изменения щелочного числа масла от наработки с учетом промывки системы смазки перед заменой масла

Кислотное число не нормируется современными стандартами на моторное масло. В условиях эксплуатации по данному показателю очень сложно оценивать изменение свойств масла, так как по мере выгорания присадок кислотное число, как и щелочное уменьшается, а по мере накопления продуктов окисления увеличивается. Тем не менее, в сравнительном режиме возможно косвенно характеризовать данный показатель. На рисунке 6 представлена зависимость изменения кислотного числа масла от времени работы двигателя, наработки.

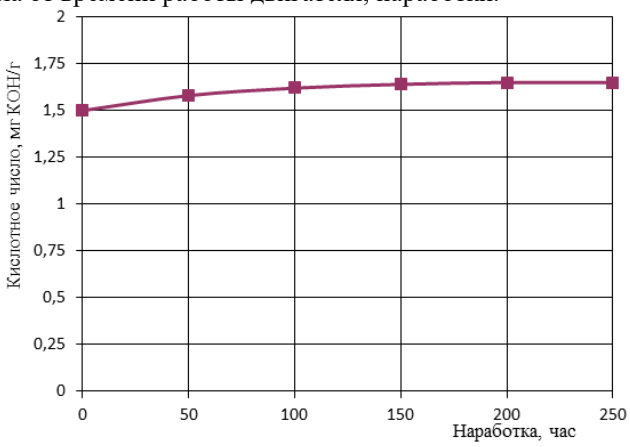


Рисунок 6 - Зависимость изменения кислотного числа моторного масла от наработки в двигателе

Сравнивая полученные значения за весь период наблюдения, следует отметить, что кислотное число практически не изменилось по сравнению с товарным маслом и маслом, работавшем в двигателе без промывки в системе смазки (рисунок 2). Данный факт возможно объяснить более низким содержанием в масле продуктов окисления, примесей (рисунок 4).

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что использование моторного масла М-10ДМ в двигателе трактора может снижать срок его службы до замены из-за накопления примесей и интенсивного выгорания присадок.

Промывка системы смазки перед заменой моторного масла позволяет снизить содержание механических примесей к периоду наработки 250 часов с 1,03 % до 0,71 %, содержание смол и продуктов старения с 0,98 % до 0,69 %.

Щелочное число масла, работавшего в двигателе без предварительной промывки, к моменту наработки 250 часов снизилось с 8,7 мг КОН/г до 2,3 мг КОН/г, в то время как после удаления загрязнений щелочное число равнялось 4,7 мг КОН/г.

Кислотное число изменялось незначительно, что корреспондируется с известными закономерностями, характеризующими эксплуатационные свойства моторного масла.

В целом установлено, что операция промывки системы смазки двигателя трактора позволяет продлить срок службы моторного масла на 20 – 30 %.

Список источников

1. Балтенас Р., Сафонов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В. Моторные масла. СПБ: Альфа – Лаб, 2000. 272 с.

2. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. Москва: Химия, 1979. 240с.

3. Коваленко В. П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. Москва: Химия, 1978. 320 с.

4. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 238с.

5. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Москва: Техинформ, 1999. 596 с.

6. Кузьмин Н.А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации. Москва: Форум, 2001. 200 с.

7. Гуреев А. А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. Москва: Химия, 1986. 368 с.

8. В.В. Остриков, С.Н. Сазонов, В.И. Оробинский, Д.Н. Афоничев Определение диспергирующе-стабилизирующих свойств моторных масел и их загрязненности в условиях эксплуатации. Химия и технология топлив масел. № 5(615). 2019, С.48-52.

9. Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Забродская А.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие. Москва - Вологда: Инфра – Инженерия, 2019. 242 с.

10. Эрих В. Н. Химия и технология нефти и газа. Москва: Химия, 1997. 424 с.

11. Евдокимов А. Ю. Смазочные материалы. Москва: Нефть и газ, 2000. 425 с.

References

1. Baltenas R., Safonov A.S., Ushakov A.I., Shergalis V. Motor oils. St. Petersburg: Alpha - Lab, 2000. 272 p.

2. Venzel S.V. The use of lubricating oils in internal combustion engines. Moscow: Khimiya, 1979. 240 p.

3. Kovalenko V. P. Pollution and purification of petroleum oils. Moscow: Chemistry, 1978. 320 p.

4. Grigoriev M.A., Bunakov B.M., Doletsky V.A. Engine oil quality and engine reliability. Moscow: Standards Publishing House, 1981. 238 p.

5. Shkolnikov V.M. Fuels, lubricants, technical fluids. Range and application. Moscow: Tekhinform, 1999. 596 p.

6. Kuzmin N.A. Processes and patterns of changes in the technical condition of cars in operation. Moscow: Forum, 2001. 200 p.

7. Gureev A.A., Fuks I.G., Lashkhi V.L. Chemmotology. Moscow: Khimiya, 1986. 368 p.

8. V.V. Ostrikov, S.N. Sazonov, V.I. Orobinsky, D.N. Afonichev Determination of dispersing and stabilizing properties of motor oils and their contamination under operating conditions. Chemistry and technology of fuels and oils. No. 5(615). 2019, pp.48-52.

9. Ostrikov V.V., Petrashev A.I., Sazonov S.N., Zabrodskaya A.V. Fuel, lubricants and technical fluids: a textbook. Moscow - Vologda: Infra - Engineering, 2019. 242 p.

10. Erich V. N. Chemistry and technology of oil and gas. Moscow: Khimiya, 1997. 424 p.

11. Evdokimov A. Yu. Lubricants. Moscow: Oil and Gas, 2000. 425 p.

Информация об авторах

А.В. Кошелев – младший научный сотрудник; В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; А.В. Забродская – научный сотрудник; В.С. Вязинкин – научный сотрудник.

Information about the authors

A. Koshelev – junior researcher; V. Ostrikov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Zabrodskaya – researcher; V. Vyazinkin – researcher.

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

Поступила в редакцию (Received): 15.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 656.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-104-111

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДВС

Анна Владимировна Чернышева [1]***, Борис Иванович Колобков*** [2]***,***
Василий Александрович Середа [3]***, Алексей Юрьевич Корнев*** [4]***, Анна Павловна Ликсутина*** [5]
[1,2,3]*25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва, Россия*
[4,5]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0002-8962-6469
[3]25gosnii_tehreg@mil.ru
[4]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2765-2506
[5]Liksutina68@gmal.com, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Автор ответственный за переписку: Анна Владимировна Чернышева, 25gosnii_tehreg@mil.ru
Corresponding author: Anna Chernysheva, 25gosnii_tehreg@mil.ru

Реферат. *Определяли области применения фракций синтетической нефти и метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Проведены исследования двух видов альтернативных топлив: 1 – различных фракций синтетической нефти, полученной по методу Фишера-Тропша; 2 – смесевых топлив (В7) на основе гидроочищенной нефтяной дизельной фракции с добавкой 7 % МЭРМ рапсового масла. На основании результатов испытаний различных фракций синтетической нефти показана перспективность их применения в качестве добавки к нефтяным топливам. Поскольку основными недостатками биодизельных и смесевых топлив являются плохая окислительная стабильность и склонность к образованию отложений, были проведены исследования эффективности антиокислительной присадки Агидол-1 в смесевом топливе с добавлением 7 % МЭЖК рапсового масла в условиях испытаний на бемоторной установке ОСВ-М. Установлено положительное влияние антиокислительной присадки Агидол-1 на снижение высокотемпературных отложений на донышках форсунок, при работе на смесевых топливах, содержащих до 7 % МЭЖК. Количественная оценка отложений на донышке распылительной форсунки выполнена с применением ИК-Фурье спектрометра ФТ-801 с инфракрасным широкодиапазонным микроскопом. На основании результатов, полученных на ОСВ-М с применением ИК-Фурье спектрометрии, показана перспективность применения антиокислительной присадки Агидол-1 для снижения отложений на форсунках двигателей, работающих на смесевых топливах.*

Ключевые слова: *Агидол-1, биодизельное топливо, биотопливо, ИК-спектрометрия, МЭЖК, рапсовое масло, отложения, окислительная стабильность, смесевое топливо, синтетические углеводородные топлива, синтетические компоненты моторных топлив.*

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ALTERNATIVE RAW MATERIAL SOURCES AS ENERGY CARRIERS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Anna Chernysheva [1]***, Boris Kolobkov*** [2]***, Vasily Sereda*** [3]***, Alexey Kornev*** [4]***, Anna Liksutina*** [5]
[1,2,3]*25-th State Research Institute of Chemmotology, Ministry of Defence of Russian Federation, Moscow, Russia*
[4,5]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,*

Tambov, Russia
[1]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0002-8962-6469
[3]25gosnii_tehreg@mil.ru
[4]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2765-2506
[5]Liksutina68@gmal.com, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Abstract. *The areas of application of synthetic oil fractions and fatty acid methyl esters (FAME) were determined. Conducted: Research on two types of alternative fuels has been carried out: 1 – various fractions of synthetic oil obtained using the Fischer-Tropsch method; 2 – mixed fuels (B7) based on hydrotreated petroleum diesel fraction with the addition of 7% FAME of rapeseed oil. The prospects for their use as an additive to petroleum fuels are shown based on the results of tests of various fractions of synthetic oil. Since the main disadvantages of biodiesel and mixed fuels are poor oxidative stability and a tendency to form deposits, studies of the effectiveness of the antioxidant additive Agidol-1 in mixed fuel with the addition of 7% rapeseed oil FAME under test conditions on an OSV-M non-engine unit were carried out. The positive effect of the antioxidant additive Agidol-1 on the reduction of high-temperature deposits on the bottoms of injectors when operating on mixed fuels containing up to 7% FAMEs has been established. Quantitative assessment of deposits on the bottom of the spray nozzle was carried out using an FT-801 IR-Fourier spectrometer with a wide-range infrared microscope. Based on the results obtained at OSV-M using IR-Fourier spectrometry, the promise of using the antioxidant additive Agidol-1 to reduce deposits on the injectors of engines operating on mixed fuels was shown.*

Keywords: *Agidol-1, biodiesel fuel, biofuel, IR spectrometry, FAME, rapeseed oil, deposits, oxidative stability, mixed fuel, synthetic hydrocarbon fuels, synthetic components of motor fuels.*

Для цитирования: Чернышева А.В., Колобков Б.И., Середа В.А., Корнев А.Ю., Ликсутина А.П. Исследование возможности применения альтернативных сырьевых источников в качестве энергоносителей для ДВС // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 65, № 5. С. 104-111. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-104-111.

For citation: Chernysheva A., Kolobkov B., Sereda V., Kornev A., Liksutina A. Study of the possibility of using alternative raw material sources as energy carriers for internal combustion engines// *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 104-111. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-104-111.

Введение. Мировой интерес к альтернативным видам топливам обусловлен двумя проблемами:

– энергетическая безопасность, независимость от поставок нефти и газа;

– снижение выбросов парниковых газов, в частности CO_2.

Энергетическая безопасность Российской Федерации обусловлена высокой обеспеченностью ископаемыми энергоносителями.

Однако проблема снижения показателей эмиссии парниковых газов всеми видами транспорта носит международный характер. В 2019 году было подписано постановление о принятии Россией Парижского соглашения о климате (The Paris Agreement) по стабилизации выбросов CO_2.

Поскольку физико-химические и эксплуатационные свойства ряда альтернативных топлив отличаются от нефтяных, их применение может быть связано с внесением конструкционных изменений в топливорегулирующую аппаратуру (ТРА) [1], либо с доведением показателей качества альтернативных топлив до требований нормативной документации путем введения добавок, присадок или смешения с нефтяными топливами.

В данной статье рассмотрены особенности фракций альтернативных топлив, по сравнению с дизельным топливом, применение которых не требует внесения конструкционных изменений в ТРА.

Материалы и методы.

Объекты исследований.

Образец №1 – бензиновая фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец № 2 – дизельная фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №3 – керосиновая фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №4 – керосиновая фракция гидрированная синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №5 – гидроочищенная нефтяная дизельная фракция;

образец №6 – биодизель (В7) (93 % гидроочищенной нефтяной дизельной фракции, 7% - МЭЖК рапсового масла);

образец №7 – биодизель (В7) (92,9 % гидроочищенной нефтяной дизельной фракции, 7% - МЭЖК рапсового масла, 0,1% Агидол-1).

Фракции синтетической нефти, полученной по методу Фишера-Тропша.

С целью оценки перспективности применения фракций синтетической нефти в качестве компонентов моторных топлив, были определены их физико-химические и эксплуатационные свойства.

По сравнению с нефтяными бензинами, синтетическая бензиновая фракция имеет меньшую плотностью при 15 °С – 710,2 кг/м^3 (при норме 725–780 кг/м^3), фракционный состав отличается небольшим содержанием компонентов, выкипающих при 70 °С – 10% (при норме 15-48 %). Октановое число синтетической бензиновой фракции составляет всего 78,5. Так же были определены показатели кислотность и йодное число, которые не нормируются ГОСТ, но характеризуют состав исследуемого образца. Синтетическая бензиновая фракция имеет большую кислотность – 66,18 мг КОН/100 см^3 и йодное число – 11,8 г I_2/100 г, что свидетельствует о высокой коррозионной активности топлива и повышенной склонности к окислению из-за наличия в составе высокорреакционно-способных кислот и непредельных соединений.

Аналогичные отклонения от норм наблюдаются и в синтетической дизельной фракции. Плотность при 15°С – 775,9 кг/м^3 (при норме 800–840 кг/м^3), йодное число – 4,8 г I_2/100 г, цетановое число – 45,9 (при норме ≥ 47 для класса 3), смазывающая способность 789 мкм (при норме ≤ 460).

Это связано с тем, что продуктом синтеза Фишера-Тропша является смесь парафиновых углеводородов различной молекулярной массы с примесью олефинов:

$nCO + (2n+1)\ H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$;

$nCO + 2nH_2 \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$.

Все синтетические фракции не соответствуют требованиям нормативной документации по показателям плотность и вязкость, это связано с тем, что по методу Фишера-Тропша практически не образуются ароматические соединения. Однако эту особенность можно использовать для снижения доли ароматических соединений в нефтяных топливах, поскольку ужесточение экологических требований повлекло снижение нормативных показателей не только по содержанию серы, но и по содержанию ароматических соединений.

Ряд показателей, таких как цетановое и октановое числа, низкотемпературные свойства, смазывающая способность можно скорректировать присадками.

Еще одной особенностью процесса Фишера-Тропша является большое количество олефинов в продуктах реакции. В бензинах по требованиям ГОСТ допускается содержание олефинов до 18%. Для дизельных топлив содержание олефинов не нормируется, однако они могут повлиять на химическую и физическую стабильность, что косвенно оценивается показателем «окислительная стабильность». Для керосинов содержание олефинов имеет критическое значение и нормируется показателем «йодное число». Поэтому необходимо проводить дополнительную стадию гидрирования керосиновой фракции перед введение в топливо для реактивных двигателей.

Результаты и обсуждение.

В данной работе проведено сравнение синтетической керосиновой фракции (образец №3) с гидрированной керосиновой фракцией (образец № 4). Плотность обоих образцов ниже нормативных значений – 735 и 746 кг/м^3 (при норме ≥ 775,0 для марки РТ), кислотность

гидрированного образца в 10 раз меньше (0,84 мг КОН/100 см^3), чем не гидрированного – 9,04 мг КОН/100 см^3, йодное число так же значительно сократилось при гидрировании с 8 г I_2/100 г до 0,2 г I_2/100 г, что уже соответствует требованиям ГОСТ, все остальные показатели соответствуют требованиям нормативной документации для марки РТ.

Таким образом, единственный показатель не соответствующий требованиям ГОСТ – «плотность при 20 ºС», который можно скорректировать при компаундировании с нефтяной керосиновой фракцией с высоким содержанием ароматических соединений.

Хорошие низкотемпературные свойства образца № 4 (Температура начала кристаллизации минус 67) позволяют предполагать наличие в нём, кроме парафинов нормального строения, парафинов изо- и/или циклического строения.

К достоинствам керосиновой фракции синтетической нефти стоит отнести высокую теплотворную способность: «низшая теплота сгорания» составляет 44100 кДж/кг, что объясняется высоким соотношение водорода к углероду в парафинах, которые преобладают в синтетической нефти.

Так же стоит отметить отсутствие соединений серы, что важно для получения топлив ЕВРО.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что фракции синтетической нефти могут применяться в качестве компонентов моторных топлив. Однако в ряде случаев потребуется проводить дополнительные стадии обработки (гидрирование, изомеризация и т.п.), а для доведения конечного смесевого товарного топлива до кондиционных показателей – вводить присадки и регулировать соотношение с нефтяными компонентами.

Смесевые топлива, содержащие МЭЖК (метиловые эфиры жирных кислот).

Из литературных данных известно, что биодизельное топливо (В100) не соответствует требованиям ГОСТ 32511 по ряду показателей – плотность, кинематическая вязкость, температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, и окислительная стабильность, поэтому применение их без разбавления дизельным топливом затруднительно [2].

В качестве преимуществ биодизельных топлив можно выделить хорошую смазывающую способность (скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С составляет 178 – 250 мкм) и высокое цетановое число (52,0- 54,0) по сравнению с нефтяными топливами.

В смесевых топливах проблема несоответствия требованиям показателей плотности и вязкости корректируется подбором нефтяной дизельной фракции. Основным недостатком таких топлив является плохая окислительная стабильность и склонность к образованию высокотемпературных отложений.

Известно, что скорость окисления МЭЖК зависит от степени ненасыщенности жирных кислот, входящих в состав МЭЖК. Как правило более высокая ненасыщенность приводит к меньшей стабильности, однако имеет значение и положение двойных связей [4, 5]. Продуктами реакции окислительных процессов являются альдегиды, спирты и карбоновые кислоты.

В работах [6, 7] для увеличения стабильности предложено смешивать два вида биодизельного топлива, обладающего различными уровнями окислительной стабильности, например, МЭЖК пальмового масла с высокой окислительной стабильностью и МЭЖК ятрофы или МЭЖК сои с более низкой стабильностью.

Другой подход к повышению окислительной стабильности МЭЖК заключается в применении антиокислительных присадок [8]. При сравнении естественных (каротиноиды, токоферолы) и синтетических антиоксидантов, вторые оказываются более эффективными [9].

Применение антиокислителей для предотвращения или замедления процесса окисления является наиболее экономичным способом по сравнению с остальными известными методами. Антиоксиданты отдают электрон или водород свободным радикалам, чтобы нейтрализовать реакцию окисления.

Не существует универсального антиокислителя, продлевающего срок годности всех видов биодизельного топлива. При изобилии доступных антиоксидантов необходимо найти наиболее подходящие антиокислители или их комбинацию для оптимизации стабильности при хранении каждого биодизельного топлива.

При подборе подходящего антиокислителя для конкретного биодизельного топлива важно различать типы антиоксидантов и их свойства. Существует три основных типа антиокислителей:

фенолы, амины и тиофенолы. Большинство природных антиоксидантов содержат полифенолы, и они действуют аналогично фенольным антиокислителям. Из-за возможных выбросов серы тиофенолы не используются для улучшения стабильности биодизельного топлива.

В целом, фенольный тип антиокислителей наиболее часто используется в производстве биодизельного топлива из-за их стоимости, доступности и эффективности [10, 11]. Агидол-1 является одним из наиболее летучих антиоксидантов фенольных групп и чрезвычайно растворим в жире и нерастворим в воде. Это эффективный антиоксидант для жидких углеводородов (особенно для бензинов) и биодизельных смесей с низким содержанием биодизеля, но неэффективен для защиты чистого биодизельного топлива или биодизельных смесей с высоким содержанием биодизеля.

Результаты определения окислительной стабильности (ГОСТ Р ЕН ИСО 12205) образцов № 6 и № 7 согласуются с литературными данными об эффективности антиокислительных присадок фенольного типа. Количество осадка, образующегося в процессе испытания (нагрев при 95 ºС в течение 16 часов и барботировании кислородом), при введении 0,1 % масс антиокислительной присадки Агидол-1, снижается почти в 20 раз.

Хорошо известно, что скорость реакций окисления увеличивается при повышении температуры. Окислительная стабильность, измеряемая методом Rancimat [12], основана на принципе, линейного увеличения скорости разложения от температуры. При хранении топливо не подвергается высоким температурам, однако температура деталей двигателя (поршни, форсунки, стенки камеры сгорания) может достигать более 200 ºС, что приводит к быстрому окислению топлива и образованию отложений.

Поэтому были проведены исследования по оценке эффективности применения антиокислительной присадки фенольного типа для снижения отложений на донышке форсунки.

За рубежом разработан ряд моторных методов на полноразмерных двигателях для оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений на распылителях форсунок CEC F-98-08, CEC F-23-01, CEC F-110-16 [13]. Применение этих методов требует значительных капитальных затрат, а также большого количества исследуемого образца.

В Россий был разработан метод на базе двигателя Д21А для оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений. К недостаткам метода можно отнести низкую точностью измерения и высокие материальные и временные затраты на одно испытание. В настоящее время этот метод не применяется ни в одной из российских организаций.

В работе [14] предложен метод оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений на форсунках двигателя.

Метод включает:

– измерение объема прокачиваемого топлива через форсунку за 40 сек;

– запуск суточного цикл, включающего в себя нагрев до 200 °С в течение 18 часов. В это время производится 216 циклов впрыска топлива (через каждые 5 минут);

– 6 часов без нагрева;

– повторное проведение измерения объема топлива, прокачиваемого через форсунку за 40 сек и повторение суточного цикла.

Суточный цикл повторяют четыре раза, таким образом, суммарное количество впрысков составляет 864. После этого проводят оценку степени затемнения донышка форсунки в районе распыливающих отверстий с помощью цветовой шкалы.

Оценку отложений проводили двумя методами (таблица 1):

1. бальным – визуально, сравнивая с градуировочной шкалой;
2. ИК-спектрометрическим методом.

ИК-спектральные исследования проводили на ИК-Фурье спектрометре ФТ-801 с инфракрасным широкодиапазонным микроскопом.

Для сканирования ИК-спектров с поверхности форсунки, предварительно спиливали донышко и закрепляли его на подложке в строго горизонтальной плоскости. С помощью ПО «ПУМА» снимали спектры в 600 точках, равноудаленных друг от друга на расстоянии 5 Å (рисунок 1).

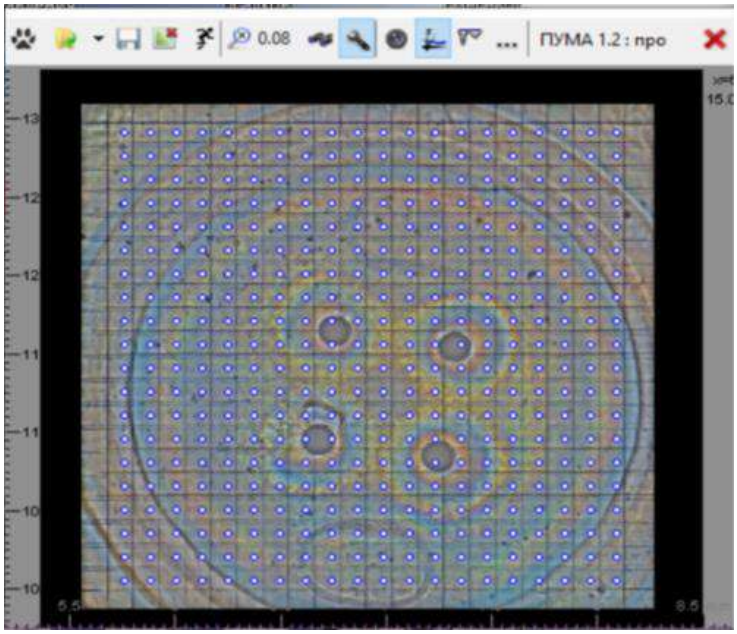
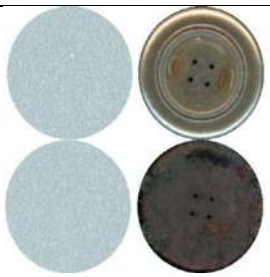
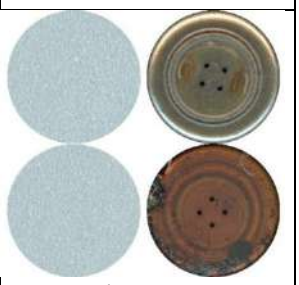


Рисунок 1 – Изображение донышка форсунки в ПО «ПУМА» при постановке задачи сканирования спектров в 600 точках

Количественную оценку отложений проводили по сумме площадей пиков (∑S) (на всех спектрах) с максимумами с области 1625 см$^{-1}$ и 1739 см$^{-1}$ при базовой линии от 1531 см$^{-1}$ до 1867 см$^{-1}$, характеризующих карбоксильные, карбонильные, сложноэфирные группы и непредельные связи С=С. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка склонности смесевого дизельного топлива к образованию высокотемпературных отложений

Способы оценки отложений	Оценка отложений		
	Образец 5	Образец 6	Образец 7
Бальная оценка отложений	Баллы: 3	 Баллы: 6,0	 Баллы: 4,5-5,0
Спектральная оценка: ∑S в области 1626 - 1740 см$^{-1}$, S·10^{-3}	67	>177	108

Несмотря на ожидаемое снижение эффективности антиокислительной присадки Агидол-1 при 200 ºС, было отмечено существенное уменьшение нагара на донышке распылительной форсунки при покачивании образца №7, что свидетельствует о положительном влиянии Агидол-1 на химическую стабильность смесевых топлив даже при высоких температурах.

Результаты ИК-спектральной оценки отложений согласуются с результатами бальной оценки, но являются более дифференцированными.

Выводы.

1. Бензиновая, дизельная и керосиновая фракции не соответствуют требованиям нормативной документации по показателям: «Плотность при 20 ºС», «Кинематическая вязкость 20 ºС», это связано с тем, что при производстве нефти по методу Фишера-Тропша из природного газа практически не образуется ароматических соединений

2. Вторым недостатком бензиновой, дизельной и керосиновой фракций синтетической нефти является наличие большого количества непредельных соединений, поэтому для соответствия требованиям, предъявляемым к топливам, фракции синтетической нефти необходимо гидрировать.

3. Фракции синтетической нефти могут рассматриваться как добавки к нефтяным топливам для улучшения различных показателей. Например, гидрированная керосиновая фракция синтетической нефти может вводиться в состав высокоароматической нефтяной керосиновой фракции для уменьшения содержания ароматических соединений, а дизельная фракция – в дизельное топливо для увеличения ЦЧ.

4. На основании результатов, полученными на безмоторной установке ОСВ-М с применением ИК-Фурье спектрометрии, показана перспективность применения антиокислительной присадки Агидол-1 для снижения отложений на форсунках двигателей, работающих на смесевых топливах.

Список источников

1. Патрахальцев Н.Н. Гаева Т.Н. Некоторые возможности применения в дизелях альтернативных топлив в качестве добавок к основному дизельному // Транспорт альтернативном топлива. №3 (75). 2020. С. 44-52.

2. Рагимов Э.А. Влияние альтернативных топлив на окружающую среду // Транспорт на альтернативном топливе. №2 (74). 2020. С. 64-70.

3. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. pp. 1196–1203.

4. National Renewable Energy Laboratory. 2006 B100 quality survey results; 2007. ⟨http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41549.pdf⟩. [Accessed 5 February 2017].

5. Repetto MG, Boveris A. Transition metals: bioinorganic and redox reactions in biological systems. In: Mishra AK, editor. Transition metals: uses and characteristics // New York: Nova Science Publishers Inc; 2012. p. 349–370.

6. Shahidi F, Janitha PK, Wanasundara PD. Phenolic antioxidants // Crit Rev Food Sci Nutr. 1992. V. 32(1). P. 67–103.

7. Sherwin ER. Synthetic antioxidants for fats and oil. In: Min DB, Smouse TH, editors. Flavor chemistry of fats and oils. St. Louis // American Oil Chemists' Society. 1985. P. 155–189.

8. Tseng HH, Tseng TC. Effects of butylated hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene and tertiary butyl hydroquinone on growth and luteoskyrin production by penicillium and islandicum // Mycopathologia. 1995. V. 129. P. 73–78.

9. Almeida ES, et al. Behaviour of the antioxidant tert-butylhydroquinone on the storage stability and corrosive character of biodiesel // Fuel. 2011 V. 90. P. 3480–3484.

10. Buosi GM, Da Silva ET, Spacino K, Silva LRC, Ferreira BAD, Borsato D. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil: comparison between synthetic and natural antioxidants // Fuel. 2016. V. 181. P. 759–764.

11. Jakeria MR, Fazel MA, Haseeb ASMA. Influence of different factors on the stability of biodiesel: a review // Renew Sustain Energy Rev. 2014 V.30. P.154–163.

12. EN 15751–2014 Automotive fuels. Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel. Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method. – 18 p.

13. The Coordinating European Council for the Development of Perfomance Test for Transportation Fuels, Lubricants and Other Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.cectests.org (дата обращения 11.03.2020).

14. Яковлев, А.В. Использование бензиновой форсунки для определения склонности дизельных топлив к образованию отложений в распылителях форсунок дизеля / А.В. Яковлев, Я.С. Криворак, Е.А. Шарин //ТРУДЫ 25 ГОСНИИ МО РФ. – 2020. – Вып 59. – С. 204.

References

1. Patrahaltsev N.N. Gaeva T.N. Some possibilities of using alternative fuels in diesel engines as additives to the main diesel // Transport of alternative fuels. No. 3 (75). 2020. pp. 44-52.

2. Ragimov E.A. The impact of alternative fuels on the environment // Transport on alternative fuels. No. 2 (74). 2020. pp. 64-70.

3. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. pp. 1196–1203.

4. National Renewable Energy Laboratory. 2006 B100 quality survey results; 2007. ⟨http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41549.pdf⟩. [Accessed 5 February 2017].

5. Repetto MG, Boveris A. Transition metals: bioinorganic and redox reactions in biological systems. In: Mishra AK, editor. Transition metals: uses and characteristics // New York: Nova Science Publishers Inc; 2012. p. 349–370.

6. Shahidi F, Janitha PK, Wanasundara PD. Phenolic antioxidants // Crit Rev Food Sci Nutr. 1992. V. 32(1). P. 67–103.

7. Sherwin ER. Synthetic antioxidants for fats and oil. In: Min DB, Smouse TH, editors. Flavor chemistry of fats and oils. St. Louis // American Oil Chemists' Society. 1985. P. 155–189.

8. Tseng HH, Tseng TC. Effects of butylated hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene and tertiary butyl hydroquinone on growth and luteoskyrin production by penicillium and islandicum // Mycopathologia. 1995. V. 129. P. 73–78.

9. Almeida ES, et al. Behaviour of the antioxidant tert-butylhydroquinone on the storage stability and corrosive character of biodiesel // Fuel. 2011 V. 90. P. 3480–3484.

10. Buosi GM, Da Silva ET, Spacino K, Silva LRC, Ferreira BAD, Borsato D. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil: comparison between synthetic and natural antioxidants // Fuel. 2016. V. 181. P. 759–764.

11. Jakeria MR, Fazel MA, Haseeb ASMA. Influence of different factors on the stability of biodiesel: a review // Renew Sustain Energy Rev. 2014 V.30. P.154–163.

12. EN 15751–2014 Automotive fuels. Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel. Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method. – 18 p.

13. The Coordinating European Council for the Development of Perfomance Test for Transportation Fuels, Lubricants and Other Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.cectests.org (дата обращения 11.03.2020).

14. Yakovlev, A.V. Using a gasoline injector to determine the tendency of diesel fuels to form deposits in diesel injector nozzles / A.V. Yakovlev, Ya.S. Krivorak, E.A. Sharin // WORKS of the 25th State Research Institute of the RF Ministry of Defense. – 2020. – Issue 59. – P. 204.

Информация об авторах

А.В. Чернышева – кандидат химических наук, Б.И. Колобков – кандидат химических наук; В.А. Середа – кандидат технических наук; А.Ю. Корнев – кандидат технических наук; А.П. Ликсутина – кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Chernysheva – Candidate of chemical sciences; B. Kolobkov – Candidate of chemical sciences; V. Sereda – Candidate of technical Sciences; A. Kornev – Candidate of technical Sciences; A. Liksutina – Candidate of technical Sciences.

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

Поступила в редакцию (Received): 14.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-112-118

ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА СТАЛИ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ БИТУМНОГО ПРАЙМЕРА

Николай Алексеевич Курьято [1]***, Лариса Геннадьевна Князева*** [2]***,***
Андрей Валерьевич Дорохов [3]***, Виктория Александровна Брыксина*** [4]
[1,2,3] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[4] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина г. Тамбов, Россия*
[1]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[2]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Автор, ответственный за переписку: Лариса Геннадьевна Князева, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. *Применение противокоррозионной защиты необходимо для продления сроков службы сельскохозяйственного оборудования, с этой цель традиционно могут быть использованы битумные составы. Эффективность составов на основе битумного праймера, в который дополнительно вводили растворитель уайт-спирит и ингибитор коррозии в количестве 5 масс. %: КО-СЖК, парафин, Эмульгин, была изучена. Исследования показали, что битумный праймер морозостоек, толщина его покрытий ожидаемо возрастает при нанесении нескольких слоев. Коррозионные испытания проводили в термовлагокамере Г-4, в растворе 0,5 М NaCl и в естественной атмосфере (натурно-стендовые исследования.). По результатам испытаний в термовлагокамере Г-4 все составы, как в присутствии ингибитора, так и без него практически полностью защищают стальную поверхность. Данные коррозионных испытаний в 0,5 М NaCl показали, что эффективность битумного праймера составляет 75 %, а введение в состав добавки парафина, Эмульгина или КО-СЖК повышает защитное действие до 98, 94, 87%, соответственно. Состав с добавлением парафина оказался наиболее эффективным по результатам натурно-стендовых испытаний (Z = 93 %), о чём свидетельствует внешний вид пластин после эксперимента. Рекомендовано провести производственные испытания с использованием последнего состава.*

Ключевые слова*: атмосферная коррозия, сельскохозяйственная техника, сталь, битумный праймер, ингибитор коррозии, Эмульгин, КО-СЖК, парафин.*

ANTI-CORROSION PROTECTION OF STEEL WITH COMPOUNDS BASED ON BITUMEN PRIMER

Nikolay Kur`yato [1]***, Larisa Knyazeva*** [2]***, Andrey Dorokhov*** [3]***, Viktoriya Bryksina*** [4]
[1,2,3] *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia*
[4] *Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia*
[1]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[2]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Abstract. *The use of anti-corrosion protection is necessary to extend the service life of agricultural equipment; bitumen compounds can traditionally be used for this purpose. The effectiveness of*

compositions based on a bitumen primer, into which white spirit solvent and a corrosion inhibitor were additionally introduced in an amount of 5 wt. %: CO-FFA, paraffin, Emulgin, has been studied. Studies have shown that the bitumen primer is frost-resistant, and the thickness of its coatings increases as expected when several layers are applied. Corrosion tests were carried out in a thermal and moisture chamber G-4, in a solution of 0.5 M NaCl and in a natural atmosphere (full-scale bench studies). According to the results of tests in the G-4 thermal and moisture chamber, all compositions, both in the presence of an inhibitor and without it, almost completely protect the steel surface. Corrosion test data in 0.5 M NaCl showed that the effectiveness of the bitumen primer is 75%, and the addition of paraffin, Emulgin or KO-SZhK to the additive increases the protective effect to 98, 94, 87%, respectively. The composition with the addition of paraffin turned out to be the most effective according to the results of full-scale bench tests (Z = 93%), as evidenced by the appearance of the plates after the experiment. It is recommended that production tests be carried out using the latest formulation.

Keywords: *atmospheric corrosion, agricultural machinery, steel, bitumen primer, corrosion inhibitor, Emulgin, KO-SZhK, paraffin.*

Для цитирования: Курьято Н.А., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Противокоррозионная защита стали битумными составами // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 112-118. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-112-118.

For citation: Kur`yato N., Knyazeva L., Dorokhov A., Bryksina V. Anti-corrosion protection of steel with the bitumen compositions. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 112-118. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-112-118.

Введение. На протяжении почти трех столетий сталь является ведущим конструкционным материалом из-за доступности, распространенности и дешевизны сырья; высокой прочности, жесткости и теплостойкости, достаточной пластичности и вязкости; технологичности. В связи с развитием промышленного и сельскохозяйственного производства спрос на относительно дешевые мягкие стали продолжает расти. Но у стальных изделий и конструкций есть один серьезный недостаток – возможность коррозионных разрушений под действием внешних факторов, которые могут приводить к серьезным экономическим проблемам. По мнению экспертов [1], экономические потери от коррозии во всём мире составляют 2,5 триллиона долларов (2013 г), что «эквивалентно 3,4% глобального валового внутреннего продукта (ВВП), причем экономические потери не включают экологические. По этой причине, атмосферная коррозия является серьезной проблемой. Более 80 % металлических материалов, подвергающихся агрессивному воздействию атмосферы, подвержены коррозии. Изучение данного вида коррозии актуально для сельского хозяйства, так как техника и оборудование эксплуатируются и хранятся в период неиспользования в естественной атмосфере [2, 3]. Для защиты металлов эффективным и экономичным методом является использование ингибиторной защиты. С давних времен для этих целей используют битумные покрытия [4-7].

С целью защиты сельскохозяйственной техники в нерабочий период от атмосферной коррозии возможно применение битумных праймеров. Битумные праймеры описывают в литературе как грунтовки, представляющие собой водной эмульсии нефтяного битума с добавлением уайт-спирита, керосина и прочих компонентов, улучшающих его свойства [8]. В состав битумных праймеров входят смолистые углеводороды, для них характерны высокая вязкость, насыщенный черный цвет, нерастворимость в воде. Битумный праймер, как все грунтовки, предназначен для создания прочной защитной подложки, улучшающей сцепление и повышающей адгезию последующих слоев. При таких условиях создаются наиболее оптимальные характеристики для прочного сцепления между слоями, что позволяет улучшить устойчивость покрытия к воздействию механических нагрузок. Битумный праймер обладает повышенной устойчивостью к показателям влажности, перепадам температур, стойкостью к воздействию ультрафиолетовых лучей, сохраняет эластичность после высыхания, что позволят его использовать как альтернативу к уже имеющимся и дорогостоящим покрытиям, применяемым для антикоррозионной защиты. При нанесении битумного праймера на объект образуется тонкий защитный, который и препятствует проникновению воздуха и влаги, агрессивных ионов и т.п. на

защищаемую поверхность. Поэтапное нанесение праймера обеспечит максимальную эффективность защиты и снизит риск повреждений покрытия. Использование битумных праймеров для защиты металлоконструкций от коррозионных повреждений является экономически выгодным, ввиду его низкой стоимости. Применение консервационных составов на основе битумного праймера может способствовать увеличению срока службы сельскохозяйственной техники.

Целью настоящей работы является исследование эффективности консервационных составов на основе битумного праймера с добавлением растворителя уайт-спирита и ингибиторов коррозии: парафина, Эмульгина, КОСЖК.

Материалы и методы.

Для исследования были получены композиции, где в роли основы использовали битумный праймер «Оргкровля №1», дополнительно вводили растворитель уайт-спирит в количестве 40 масс. %, а также добавляли 5 масс. % ингибитора коррозии: Эмульгина (кубовые остатки производства алифатических аминов), парафина П-2 (воскоподобная смесь предельных углеводородов преимущественно нормального строения с 18-35 атомами углерода в молекуле), КОСЖК (кубовые остатки производства синтетических жирных кислот).

Для нанесения покрытия образцы из углеродистой стали Ст3 опускали в ванну консервации на 10 секунд, после чего оставляли на воздухе в подвешенном вертикальном положении на 1 сутки для стекания избытка композиции и формирования защитной пленки [9, 10]. Через 5 дней после полного высыхания, проводили испытания.

Морозостойкость и количество летучих компонентов в битумном праймере определяли по ГОСТ 31740-2012.

Толщину покрытия определяли толщинометром измеряли толщиномером Horstek TC315.

Коррозионные испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl (ГОСТ 9.042-75). Скорость коррозии рассчитывали по потере массы образцов в процессе эксперимента по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где Δm - потеря массы образца, г; S – площадь поверхности, м^2; τ – длительность испытаний, часы.

Защитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\ \%,$$

где K_o, K_1 – скорости коррозии в отсутствие и при наличии пленки исследуемых составов.

Испытания в термовлагокамере Г-4 образцов из углеродистой стали Ст3 проводили в течение 40 суток в следующем режиме: 8 часов при 100 % относительной влажности воздуха и температуре 40 °С, 16 часов при закрытой и отключенной камере. Периодически проводили визуальную оценку образцов на предмет появления продуктов коррозии на поверхности.

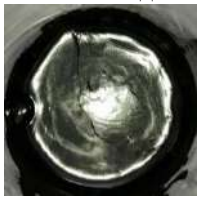
Натурно-стендовые испытания осуществляли под открытым небом в течение двух месяцев в соответствии с ГОСТ 17332-71.

Результаты и их обсуждение.

Исходный битумный праймер проверили на морозостойкость, поместив образец в морозильную камеру при -18 ± 2 ^{0}С на 24 часа. Визуальных изменений после экспозиции не наблюдали (рисунок 1).

До испытаний

После охлаждения



После нагрева

Рисунок 1- Внешний вид поверхности битумного праймера

При нанесении исходного битумного праймера на образцы из углеродистой стали Ст3, определяли толщину покрытия толщинометром. Ожидаемо, толщина покрытия увеличивалась при увеличении количества слоев нанесенного покрытия. При покрытии в 1 слой толщина покрытия составила 88 мкм, в два слоя – 94 мкм, в три слоя – 99 мкм.

В исходном битумном праймере, взятом для исследования, определили количество летучих компонентов по ГОСТ 31740-2012. Оно оказалось равным 15 %. В исследуемых составах количество летучих компонентов доводили до 40 масс. % с помощью добавки уайт-спирита.

По ГОСТ 31740-2012 определяли стойкость к воде составов на основе исследуемого битумного праймера, нанесенного в один слой на поверхность стальных образцов. После суточной выдержки образцов стали с покрытием в дистиллированной воде массовая доля влаги(W), поглощённая покрытием, составила 0,007 – 0,016 %. Покрытие с добавкой Эмульгина максимально поглощало влагу (таблица 1), что возможно связано с аминогруппами в Эмульгине, которые взаимодействуют с водой:

$$R—NH_2 + H_2O \rightleftharpoons [R—NH_3]^+ + OH^-$$

Таблица 1 - Массовая доля влаги, поглощенная исследуемыми покрытиями за сутки

Состав	Толщина покрытия, мкм	W (влаги), %
БП + 40% уайт-спирита	100-180	0,0101
БП + 40% уайт-спирита + 5% КОСЖК	80-90	0,0105
БП + 40% уайт-спирита + 5% Эмульгина	200-240	0,0162
БП + 40% уайт-спирита + 5% парафина	180-190	0,0066
Мастика Dugla Profi	170-200	0,0118

Ускоренные коррозионные испытания в 0,5 М NaCl при экспозиции в 336 ч показали (таблица 2), что и сам битумный праймер обеспечивает достаточно хороший защитный эффект (Z = 75 %), но на поверхности образцов к концу эксперимента незначительные следы коррозии (рисунок 2). Но с введением в составы исследуемых ИК, эффективность их значительно возрастает. Особенно стоит выделить композиции, содержащие парафин и Эмульгин, защитная эффективность которых достигает 98 и 94 %, соответственно. Высокое защитное действие подтверждается и внешним видом образцов после испытаний (рисунок 2).

Таблица 2 – Защитная эффективность составов на основе битумного праймера, содержащего ИК в 0,5 М NaCl. Время экспозиции 14 суток

Без покрытия	Покрытие на основе битумного праймера, содержащее в своём составе 40 масс. % уайт-спирита и с добавлением 5 масс. % ИК							
	Без добавки		парафин		КОСЖК		Эмульгин	
K, г/м^2·ч	K, г/м^2·ч	Z, %	K, г/м^2·ч	Z, %	K, г/м^2·ч	Z, %	K, г/м^2·ч	Z, %
0,0361	0,0089	75	0,0008	98	0,0048	87	0,0023	94

Без покрытия Без добавок Парафин КОСЖК Эмульгин

Рисунок 2 – Фотографии образцов после коррозионных испытаний в растворе NaCl

Также были проведены испытания в термовлагокамере Г-4, результаты которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Защитная эффективность составов на основе битумного праймера, содержащего ИК в термовлагокамере Г-4. Время экспозиции 40 суток

Без покрытия	Покрытие на основе битумного праймера, содержащее в своём составе 40 масс. % уайт-спирита и с добавлением 5 масс. % ИК							
	Без добавки		парафин		КОСЖК		Эмульгин	
К, г/м^2·ч	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %
0,0401	0,0024	94	0,0001	~100	0,0017	96	0,0013	97

Исходя из полученных данных стоит отметить, что все составы имеют высокое защитное действие. В зависимости от добавки значение Z варьируется от 96 до ~100 %. Защитная способность подтверждается и внешним видом образцов после испытаний в термовлагокамере Г-4 (рисунок 3).

На поверхности всех образцов с покрытиями отсутствуют следы коррозионных поражений. Отличие, по сравнению с испытаниями в 0,5 М NaCl, заключается в отсутствии воздействия агрессивных Cl - ионов в данных условиях.

Без покрытия Без добавок Парафин КОСЖК Эмульгин

Рисунок 3 – Фотографии стальных образцов после коррозионных испытаний в термовлагокамере Г-4

С целью изучения поведения данных покрытий в естественных условиях атмосферы были проведены натурно-стендовые испытания, результаты которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты натурно-стендовых испытаний составов на основе битумного праймера. Время экспозиции 60 суток

Без покрытия	Покрытие на основе битумного праймера, содержащее в своём составе 40 масс. % уайт-спирита и с добавлением 5 масс. % ИК							
	Без добавки		Парафин		КОСЖК		Эмульгин	
К, г/м^2·ч	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %
0,0009	0,0004	56	0,0001	93	0,00012	86	0,0003	66

По результатам натурных испытаний защитная эффективность битумного праймера составляет 56 %. Присутствие в его составе добавок увеличивает защитную эффективность. Из данных таблицы следует, что наиболее эффективной оказалась композиция, содержащая парафин (Z = 93 %). Внешний вид стальных пластин после испытаний показан на рисунке 3. Образец без защитного покрытия практически полностью подвергся коррозионному воздействию.

Без покрытия Без добавок Парафин КОСЖК Эмульгин

Рисунок 3 – Фотографии образцов стали после натурно-стендовых испытаний.

На пластине, покрытой составом с добавлением парафина коррозионные поражения отсутствуют.

Заключение. Подводя итоги, можно отметить, что для защиты сельскохозяйственной техники и оборудования от коррозии в нерабочий период, очень важно использовать вещества, замедляющие коррозионные процессы. Это можно сделать с помощью битумных праймеров, их защитная эффективность составляет 75 % при испытаниях в солевом растворе, 94 % - в термовлагокамере, 56 % - при натурно-стендовых испытаниях Повысить их защитную эффективность можно с помощью добавок парафина, Эмульгина, КО-СЖК. Экспериментальные исследования показали, что более эффективны составы с добавлением парафина. Перспективно провести в дальнейшем производственные испытания, чтобы составы можно было бы рекомендовать в качестве консервационных материалов для защиты сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Koch G. et al. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // NACE International. 2016. С. 216.

2. Krivy V., Kubzova M., Kreislova K., Urban V. Characterization of Corrosion Products on Weathering Steel Bridges Influenced by Chloride Deposition // Metals. 2017. Vol. 336, no. 7. https://doi.org/10.3390/met7090336

3. Кузнецова Е.Г., Князева Л.Г., Петрашев А.И., Ропай Б.А. Исследование консервационных материалов для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Наука в центральной России. 2015. № 2 (14). С. 53-62.

4. Проблемы производства нефтяных битумов и композиций на их основе. Аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефнефтехим, 2002 185 с.

5. Ахмадова Х. Х., Хадисова Ж. Т., Махмудова Л. Ш., Абдулмежидова З. А., Мусаева М. А. Основные способы модификации битумов различными добавками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019.- Т. XV.- № 3 (17). - С. 42-52. DOI: 10.34708/GSTOU. 2019.17.3.006.

6. Белова Н.А., Исраилова З.С., Страхова Н.А. Проблемы и перспективы производства нефтяных битумов//Вестник Дагестанского технического университета. – 2016.-№2(4).- С.139-150.

7. Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Ивойлов А.А. Битумные мастики для противокоррозионной защиты автотранспорта и сельскохозяйственного оборудования.//Практика противокоррозионной защиты. - 2008.- № 2 (48). - С. 34-37.

8.https://alfakrov.com/blog/sovety_pokupatelyam/obrabotka_bitumnym_praymerom_naznachenie_i_tekhnologiya_naneseniya_vse_raznovidnosti_sostavov_ikh_sr/ (Дата обращения 20.09.2023).

9. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д. Исследование эффективности составов на основе CORTEC VpCl-368 и CORTEC VpCl-369 для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники // Наука в центральной России. 2019. № 5. С. 69-80.

3. 10. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

References

1. Koch G. et al. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // NACE International. 2016. P. 216.

2. Krivy V., Kubzova M., Kreislova K., Urban V. Characterization of Corrosion Products on Weathering Steel Bridges Influenced by Chloride Deposition // Metals. 2017. Vol. 336, no. 7. https://doi.org/10.3390/met7090336

3. Kuznetsova E.G., Knyazeva L.G., Petrashev A.I., Ropay B.A. Research of conservation materials for the protection of agricultural machinery from atmospheric corrosion // Science in Central Russia. 2015. No. 2 (14). pp. 53-62.

4. Problems in the production of petroleum bitumen and compositions based on them. Analytical review. M.: TsNIITEneftekhim, 2002 185 p.

5. Akhmadova Kh. Kh., Khadisova Zh. T., Makhmudova L. Sh., Abdulmezhidova Z. A., Musaeva M. A. Basic methods of modifying bitumen with various additives // Vestnik GGNTU. Technical science. 2019.- T. XV.- No. 3 (17). - P. 42-52. DOI: 10.34708/GSTOU. 2019.17.3.006.

6. Belova N.A., Israilova Z.S., Strakhova N.A. Problems and prospects for the production of petroleum bitumen // Bulletin of the Dagestan Technical University. – 2016.-№2(4).- P.139-150.

7. Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ivoilov A.A. Bitumen mastics for anti-corrosion protection of vehicles and agricultural equipment. // Practice of anti-corrosion protection. - 2008.- No. 2 (48). - pp. 34-37.

8.https://alfakrov.com/blog/sovety_pokupatelyam/obrabotka_bitumnym_praymerom_naznachenie_i_tekhnologiya_naneseniya_vse_raznovidnosti_sostavov_ikh_sr/ Access date 10/20/2023

9. Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Kuryato N.A., Prokhorenkov V.D. Study of the effectiveness of compositions based on CORTEC VpCl-368 and CORTEC VpCl-369 for anti-corrosion protection of agricultural machinery // Science in Central Russia. 2019. No. 5. P. 69-80.

10. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

Информация об авторах

Н.А. Курьято – младший научный сотрудник; Л. Г. Князева – доктор химический наук, доцент; А.В. дорохов – кандидат химических наук; В. А. Брыксина – аспирант.

Information about the authors

N. Kur`yato – junior researcher; L. Knyazeva – doctor of chemical science, associate professor; A. Dorokhov – candidate of chemical science; V. Bryksina – graduate student.

Вклад авторов: Н.А. Курьято – обработка результатов исследования, проведение экспериментальных исследований; Л.Г. Князева – формулировка цели и выводов, анализ результатов исследования; А.В. Дорохов – проведение экспериментальных исследований; В.А. Брыксина – обзор литературы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Contribution of authors: N. Kur`yato – processing of research results, conducting experimental studies; L. Knyazeva – formulation of the goal and conclusions, analysis of research results; A. Dorokhov - conducting experimental studies; V. Bryksina - literature review.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Тип статьи: научная
УДК 614.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-119-126

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ГОЛОВНОЙ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПО РАЗЛИЧНЫМ СЦЕНАРИЯМ

Дмитрий Михайлович Рожков [1], Петр Иванович Ильин [2], Станислав Николаевич Шуханов [3]
[1] *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*
[2,3] *Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, г. Иркутск, Россия*
[1] rogkov77@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2730-8235
[2] ipi.academy@mai.ru, https://orcid.org/0000-0003-1421-4037
[3] shuhanov56@mail.ru , https://orcid.org/0000-0003-2134-6871

Автор, ответственный за переписку: Станислав Николаевич Шуханов, Shuhanov56@mail.ru
Corresponding author: Stanislav Shukhanov, Shuhanov56@mail.ru

Реферат. *Работа предприятий агропромышленного комплекса тесно связана с применением нефтепродуктов, использование которых обеспечивается с помощью нефтеперекачивающих станций. Оценка вероятности аварийных ситуаций на таких предприятиях осуществлена на примере головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» ООО «ТранснефтеВосток». Показано, что предприятие относится к объектам повышенной пожарной опасности, наиболее опасными технологическими участками которого являются резервуарный парк, магистральная нефтенасосная и подпорная насосная станция. В технологической схеме обращается пожаровзрывоопасное вещество – нефть. В работе исследованы возможные пути развития аварийных ситуаций, связанных с отказом оборудования отдельных технологических участков нефтеперекачивающей станции. Наиболее опасными являются аварии на трех участках: в резервуарном парке, на магистральной и подпорной насосной станциях. Определены значения вероятностей развития аварийных ситуаций. Выявлено, что самые опасные сценарии возможны на любом из резервуаров резервуарного парка и на магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции. При обоих сценариях возможны мгновенный пожар пролива, пожар пролива с задержкой воспламенения и взрыв паровоздушного облака. Причиной может быть отказ аварийной вентиляции и газоанализатора. паровоздушного облака. Исследованные варианты развития аварии на технологическом оборудовании позволят установить масштабы последствий распространения опасных факторов пожара и взрыва, а также определить комплекс мер по предупреждению аварийных ситуаций, своевременному реагированию и минимизации их последствий.*

Ключевые слова: *агропромышленный комплекс, пожарная безопасность, подпорная насосная станция.*

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF IMPLEMENTATION AT THE MAIN OIL PUMPING STATION OF EMERGENCIES OCCURING IN VARIOUS SCENARIOS

Dmitry Mikhailovich Rozhkov [1], Petr Ivanovich Ilyin [2], Stanislav Nikolaevich Shukhanov [3]
[1] *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*
[2,3] *Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia*
[1] rogkov77@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2730-823
[2] ipi.academy@mai.ru, https://orcid.org/0000-0003-1421-4037
[3] shuhanov56@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2134-6871

Abstract. *The work of enterprises in the agro-industrial complex is closely connected with the use of petroleum products, the use of which is ensured through oil pumping stations. The assessment of the probability of emergency situations at such enterprises was carried out using the example of the main oil pumping station GNPS-1 "Taishet" of TransnefteVostok LLC. It is shown that the enterprise belongs to objects of increased fire danger, the most dangerous technological areas of which are the tank farm, the main oil pumping station and the booster pumping station. A fire and explosive substance - oil is circulated in a technological scheme. Possible ways of developing emergency situations associated with the failure of equipment in individual technological sections of an oil pumping station were investigated in the work. The most dangerous accidents occur in three areas: in the tank farm, at the main and booster pumping stations. The probabilities for the development of emergency situations have been determined. It was revealed that the most dangerous scenarios are possible at any of the reservoirs of the tank farm and at the main oil pumping and booster pumping station. In both scenarios, an instant spill fire, a spill fire with delayed ignition, and an explosion of a vapor-air cloud are possible. The cause may be a failure of emergency ventilation and a vapor-air cloud gas analyzer. The studied options for the development of an accident on technological equipment will make it possible to establish the scale of the consequences of the spread of dangerous factors of fire and explosion, as well as to determine a set of measures to prevent emergency situations, timely response and minimize their consequences.*

Keywords: *agro-industrial complex, fire safety, booster pumping station.*

Для цитирования: Рожков Д.М., Ильин П.И., Шуханов С.Н. Оценка вероятности реализации на головной нефтеперекачивающей станции аварийных ситуаций, протекающих по различным сценариям // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 119-126. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-119-126.

For citation: Rozhkov D., Ilyin P., Shukhanov S. Assessment of the probability of implementation at the main oil pumping station of emergencies occuring in various scenarios. *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 119-126. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-119-126.

Введение. Работа предприятий агропромышленного комплекса тесно связана с применением нефтепродуктов, использование которых во многом обеспечивается с помощью нефтеперекачивающих станций. Оценка вероятности аварийных ситуаций на таких предприятиях осуществлена на примере головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» ООО «ТранснефтеВосток» для обеспечения безопасности деятельности человека. Предприятие относится к объектам повышенной пожарной опасности, где наиболее опасными технологическими участками которого являются резервуарный парк, магистральная нефтенасосная и подпорная насосная станция. В технологической схеме обращается пожаровзрывоопасное вещество – нефть. Разрушения оборудования в резервуарном парке, магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции являются наиболее опасными вариантами аварийных ситуаций [1].

Объекты и методы исследования.

Для оценки вероятности реализации аварийных ситуаций на нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» рассмотрим основные сценарии.

Вероятность реализации аварийных ситуаций в резервуарном парке.

На отдельно взятом резервуаре с нефтью можно выделить следующие сценарии развития аварийной ситуации [2]:

1. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, воспламенение нефти, носящее молниеносный характер, пожар пролива (сценарий Б1). Интенсивность теплового излучения, а также высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой угрожающий фактор.

2. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти, испарение нефти, образование облака паровоздушной смеси, взрыв облака (сценарий Б2). Избыточное давление воздушной волны, возникающее при сгорании паровоздушного облака, импульс сжатия данной волны, в том числе

наличие продукты сгорания паровоздушной смеси с высокотемпературными значениями – опасные факторы этого сценария.

3. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, ее испарение, образование облака паровоздушной смеси и ее воспламенение, но при этом не образуется волна избыточного давления (сценарий Б3) [3]. Высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой опасный фактор в этом сценарии.

4. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, испарение нефти, образование облака паровоздушной смеси, рассеяние облака, воспламенение не происходит в виду отсутствия источника зажигания (сценарий Б4). Опасные факторы отсутствуют.

5. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, (паровоздушное облако не образуется, так как пары рассеиваются в атмосфере), воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, пожар пролива [4]. Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения и высокотемпературные продукты сгорания паровоздушной смеси (сценарий Б5).

6. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, (паровоздушное облако не образуется, так как пары рассеиваются в атмосфере), воспламенение не происходит (сценарий Б6). Факторы, представляющие угрозу, в этом случае отсутствуют.

Дальнейшее установление вероятности аварийных сценариев осуществлялось посредством применения логической схемы, проиллюстрированной на рисунке 1. Согласно методических рекомендаций по формированию декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта (РД 03-357-00) [5] Вероятность разрушения оборудования резервуара составляет 10^{-5} год$^{-1}$. Условные вероятности воспламенения горючей среды при выходе ее из оборудования приняты согласно таблице 1 методики [6].

Таблица 1 – Условное значение вероятности воспламенения горючей среды

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность молниеоснного воспламенения			Условное значение вероятности последующего воспламенения при отсутствии молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
диапазон	номинальное средн значе-ние	газ	двух-фазная смесь	жидкость	газ	двух-фазная смесь	жид-кость	газ	двух-фазная смесь	жид-кость
Малый (<1)	0,51	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,081	0,081	0,051
Средний (1 - 50)	10,0	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,241	0,241	0,051

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности последующего воспламенения при отсутствии молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
Большой (>50)	100,0	0,151	0,151	0,041	0,176	0,176	0,042	0,601	0,601	0,051
Полный разрыв	–	0,201	0,201	0,051	0,241	0,241	0,061	0,601	0,601	0,101

Значение вероятности возникновения паровоздушного облака найдем, исходя из повторяемости штилей. Для г. Тайшет Иркутской области штили наблюдаются в продолжительности 20 % времени [7]. Поэтому условное значение вероятности возникновения паровоздушного облака приравниваем 0,2.

Ниже проиллюстрирована логическая схема действия аварии резервуара с нефтью. Сценарии развития аварийной ситуации, представляющие собой наибольшую угрозу - сценарии Б1, Б2, Б3 и Б5 (рисунок 1). Другие сценарии не характеризуются опасными факторами пожара.

Расчеты показали, что вероятности реализации данных сценариев в продолжительности года составят:

$$Q(Б1) = 5\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б2) = 1{,}9\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б3) = 1{,}2\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б5) = 4{,}6\cdot10^{-8}\ год^{-1}.$$

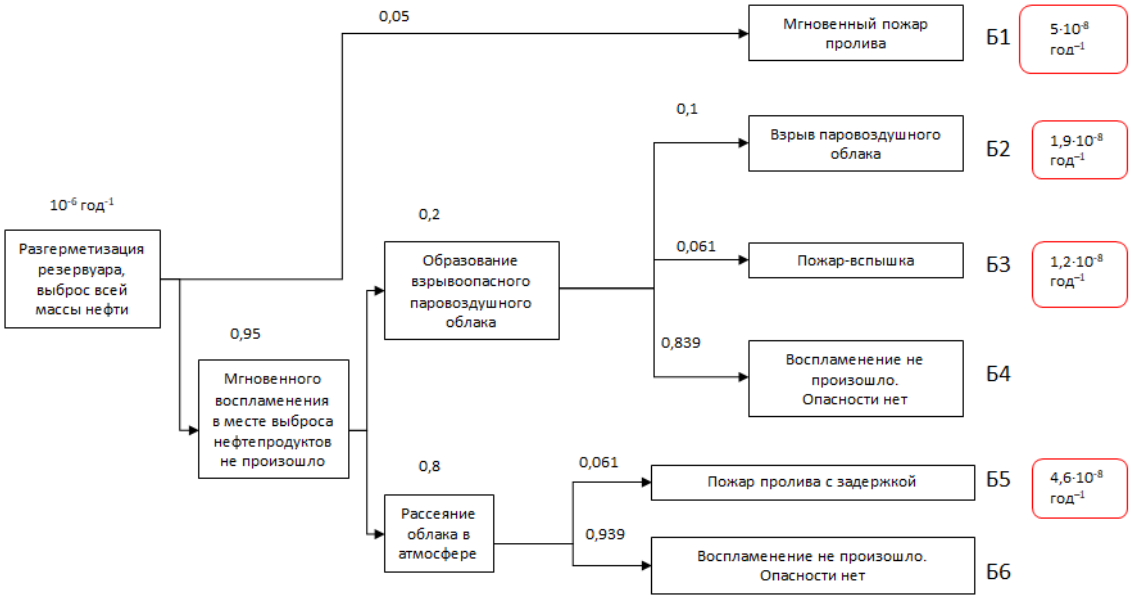


Рисунок 1 – Схема сценариев развития аварийных ситуаций в резервуарном парке ГНПС-1 «Тайшет»

Вероятность реализации аварийных ситуаций в зданиях насосных станций.

Анализ развития аварий в зданиях магистральной нефтенасосной, а также подпорной насосной станции дал возможность сформулировать следующие возможные сценарии [8,9].

1. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, в случае срабатывания газосигнализатора, а также срабатывании аварийной вентиляции последующее удаление газопаровоздушной смеси, в том числе сбор пролившейся нефти, включая ликвидацию аварии (сценарий В1). Опасных факторов нет.

2. Разгерметизация или разрушение насоса, включая выброс нефти, кроме того, срабатывание газосигнализатора, а также несрабатывание аварийной вентиляции, воспламенение в месте выброса паров нефти, в том числе пожар пролива (сценарий В2). Угрожающий фактор этого сценария представляет собой интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

3. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, включая срабатывание газосигнализатора, а также несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти по поверхности пола нефтенасосной, ее испарение, образование облака паровоздушной смеси, взрыв облака (сценарий В3). Факторы, несущие опасность этого сценария – это избыточная величина давления воздушной волны, образующейся при сгорании паровоздушного облака, а также импульс сжатия данной волны, кроме того, высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

4. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, в том числе срабатывание газосигнализатора, несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса последующий пролив нефти, а также воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, включая пожар пролива (сценарий В4). Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения, включая высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

5. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, а также срабатывание газосигнализатора, несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти, кроме того, испарение нефти, образование так называемого облака паровоздушной смеси, включая рассеяние облака, сбор пролившегося нефти, и последующая ликвидация аварии. Опасных факторов нет (сценарий В5).

6. Разгерметизация или разрушение насоса, включая выход нефти в объем помещения, в случае несрабатывания газосигнализатора молниеносное воспламенение паров нефти в области выброса, а также пожар пролива (сценарий В6). Интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси являют собой угрожающий фактор.

7. Разгерметизация или разрушение оборудования, а также выброс нефти, при сценарии отказа газосигнализатора, включая отсутствие воспламенения в области выброса пролив нефти, в том числе ее испарения, кроме того, формирование облака паровоздушной смеси, далее взрыв облака (сценарий В7). Избыточное значение давления воздушной волны, возникающее при сгорании паровоздушного облака, а также импульс сжатия данной волны, в том числе высокотемпературные величины продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой угрожающий фактор этого сценария.

8. Разгерметизация или разрушение оборудования, выброс нефти, в случае несрабатывания газосигнализатора и отсутствия воспламенения в месте выброса, последующий пролив нефти, включая воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, кроме того, пожар пролива (сценарий В8). Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

9. Разгерметизация или разрушение оборудования выброс нефти, срабатывание газосигнализатора, срабатывание аварийной вентиляции, в этом случае происходит рассеяние облака, сбор пролившейся нефти, а также ликвидация аварии. Опасные факторы отсутствуют (сценарий В9).

10. Разгерметизация или разрушение оборудования выброс нефти, в случае несрабатывания газосигнализатора, а также отсутствия воспламенения в месте выброса, пролив нефти, испарение нефти, в том числе образование облака паровоздушной смеси, рассеяние облака, включая сбор пролившейся нефти, ликвидация аварии (сценарий В9). Опасные факторы отсутствуют.

На схему реализации сценариев аварийных ситуаций (рисунок 2) были нанесены значения вероятностей и условных вероятностей соответствующих событий. Согласно [6] Вероятность аварии насоса равна 10^{-4} год$^{-1}$. Вероятность эффективной работы системы аварийной вентиляции составляет 0,8 [10].

Вероятность отказа газоанализатора в соответствии с экспоненциальным законом распределения вероятностей будет:

$$Q_{ГА} = 1 - e^{-\lambda ГА\,тр}$$

где $\lambda_{ГА} = 10^{-4}$ ч$^{-1}$ = 0,876 год$^{-1}$ – интенсивность отказа газоанализатора [11].

$$Q_{ГА} = 1 - e^{-0,876\cdot 1} = 0,584 \text{ год}^{-1}$$

При аварии в зданиях насосных имеет место быть разрушение оборудования (насосов, а также трубопроводов), в том числе выхода нефти в объем помещения (рисунок 2).

Наиболее тяжелые сценарии развития аварии представляют собой сценарии В2, В3, В4, В6, В7, В8. Вероятности реализации этих сценариев, характеризующимися возникновением опасных факторов пожара, в продолжение года составят: Q(В2) = $4,16\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В3) = $4,8\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, Q(В4) = $4,33\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В6) = $2,92\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$, Q(В7) = $3,38\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В8) = $3,05\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$.

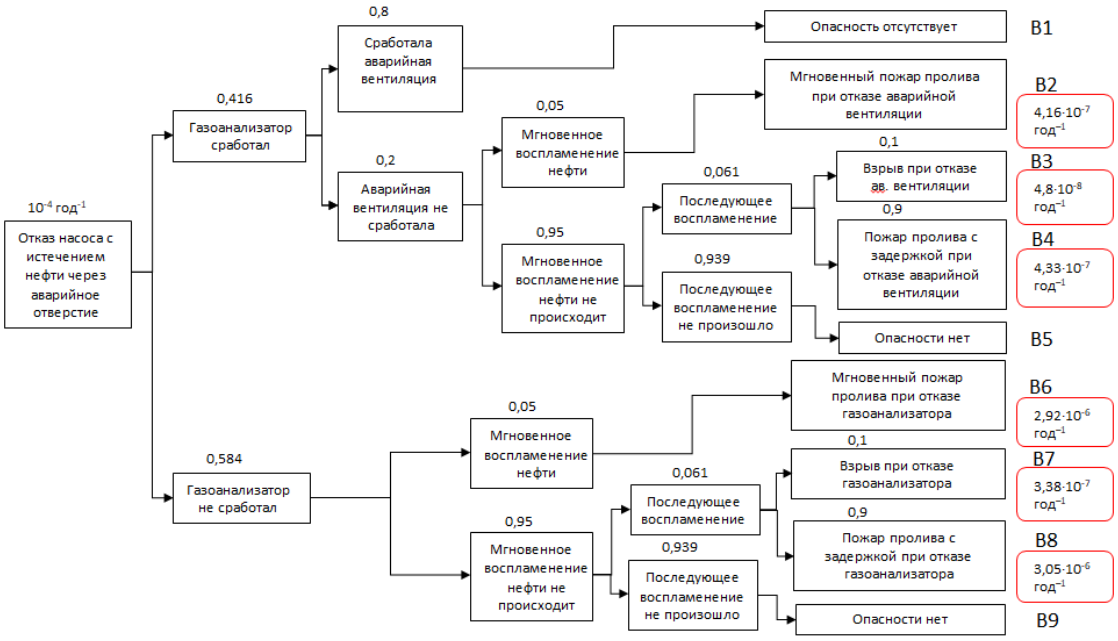


Рисунок 2 – Схема сценариев развития аварийных ситуаций в зданиях насосных станций ГНПС-1 «Тайшет»

Таким образом, исследование опасных сценариев развития возможных аварий в резервуарном парке и зданиях насосных станций ГНПС-1 и определения значений вероятностей их развития, позволит в дальнейшем оценить масштабы последствий распространения опасных факторов пожара и взрыва, а также определить эффективные меры по предупреждению аварийных ситуаций, своевременному реагированию с минимизации последствий.

В результате выявлено, что самые опасные сценарии это:

– на любом из резервуаров резервуарного парка: мгновенный пожар пролива с вероятностью реализации $5\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, взрыв паровоздушного облака с вероятностью реализации $1{,}9\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, пожар-вспышка с вероятностью $1{,}2\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, и пожар пролива с задержкой воспламенения с вероятностью реализации $4{,}6\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$.

– на магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции: мгновенный пожар пролива при отказе аварийной вентиляции с вероятностью реализации $4{,}16\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, взрыв при отказе аварийной вентиляции ($4{,}8\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$); пожар пролива с задержкой воспламенения при отказе аварийной вентиляции ($4{,}33\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$); мгновенный пожар пролива при отказе газоанализатора ($2{,}92\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$); взрыв при отказе газоанализатора ($3{,}38\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$); пожар пролива с задержкой воспламенения при отказе газоанализатора ($3{,}05\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$)..

Список источников

1. Рожков, Д. М. Исследование пожарной опасности головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 "Тайшет" ООО "Транснефть-Восток" / Д. М. Рожков, А. Л. Беляк // XXI век. Техносферная безопасность. – 2022. – Т. 7, № 3(27). – С. 249-263.

2. Дупляков Г.С., Елфимова М.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 50-62.

3. Полякова, С. А., Ильичев С.С. Анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли России // Молодой ученый. – 2022. – № 16(411). – С. 115-117.

4. Уроки, извлеченные из аварий. - Текст: электронный // Ростехнадзор: [Электронный ресурс]. - URL: https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/

5. РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. – Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26.04.00 № 23 / Госгортехнадзор России. – М.: ПИО ОБТ, 2000.

6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010). Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 // Пожарная безопасность, № 3, 2009.

7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Утвержден приказом от 24 декабря 2020 г. № 859/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ.

8. Коробейников, А. М., Кончаков С.А. Обеспечение пожарной безопасности в организациях системы "Транснефть" // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – С. 421-423.

9. Аралов, О. В. Оценка соответствия оборудования, применяемого на объектах магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" для снижения рисков возникновения аварий / О. В. Аралов // Трубопроводный транспорт - 2015 : Материалы X Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа, 21–22 мая 2015 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. – С. 19-20.

10. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. – Утв. приказом МЧС России № 382 от 30.06.2009.

11. ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Принят Росстандартом 5 октября 2018 г. М.: Стандартинформ, 2018.

References

1. Rozhkov, D. M. Study of the fire hazard of the main oil pumping station GNPS-1 "Taishet" LLC "Transneft-Vostok" / D. M. Rozhkov, A. L. Belyak // XXI century. Technosphere safety. – 2022. – T. 7, No. 3(27). – pp. 249-263.

2. Duplyakov G.S., Elfimova M.V. Problems of ensuring fire safety of oil and petroleum products warehouses // Technosphere safety. 2019. No. 3 (24). pp. 50-62.

3. Polyakova, S. A., Ilyichev S.S. Analysis of accident rates at Russian oil and gas industry facilities // Young scientist. – 2022. – No. 16(411). – pp. 115-117.

4. Lessons learned from accidents. - Text: electronic // Rostekhnadzor: [website]. - URL: https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/

5. RD 03-357-00 Methodological recommendations for drawing up an industrial safety declaration for a hazardous production facility. – Approved Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia dated April 26, 2000 No. 23 / Gosgortekhnadzor of Russia. – M.: PIO OBT, 2000.

6. On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk at production facilities (as amended as of December 14, 2010). Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10, 2009 No. 404 // Fire Safety, No. 3, 2009.

7. SP 131.13330.2020 Construction climatology. Approved by order No. 859/pr of December 24, 2020 of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation.

8. Korobeinikov, A.M., Konchakov S.A. Ensuring fire safety in organizations of the Transneft system // Fire safety: problems and prospects. – 2018. – T. 1. – P. 421-423.

9. Aralov, O. V. Conformity assessment of equipment used at the facilities of main oil pipelines of JSC AK Transneft to reduce the risks of accidents / O. V. Aralov // Pipeline transport - 2015: Materials of the X International educational, scientific and practical conference , Ufa, May 21–22, 2015. – Ufa: Ufa State Petroleum Technical University, 2015. – pp. 19-20.

10. Methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard. – Approved by order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 382 of June 30, 2009.

11. GOST 12.1.044-2018 System of occupational safety standards (SSBT). Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. Accepted by Rosstandart on October 5, 2018. M.: Standartinform, 2018.

Информация об авторах

Д.М. Рожков - кандидат технических наук, доцент; П. И. Ильин - кандидат технических наук, доцент; С.Н. Шуханов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

D. Rozhkov - candidate of technical sciences, associate professor; P. Ilyin - candidate of technical sciences, associate professor; S. Shukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.10.2023. Заказ № 23.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 13,34 усл. печ. л. Тираж 100 экз.