ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2021 № 5 (53)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 5 (53), 2021 г.

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

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

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

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»
ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор
ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич – главный редактор, директор ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
КАЗАКЕВИЧ Пётр Петрович – заместитель председателя президиума Национальной академии наук Республики Беларусь, член-корреспондент национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН
КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН
КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ
ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, за-служенный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»
ЛАЧУГА Юрий Федорович – академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор
МАШКОВ Алексей Николаевич – зам. главного редактора, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН
МИЩЕНКО Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ
НАГОРНОВ Станислав Александрович – зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН
СТРЕБКОВ Дмитрий Семенович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председатель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергии, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor
VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

Редакция

Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
Главный редактор: Зазуля А.Н.; заместители главного редактора: Нагорнов С.А., Машков А.Н.
№ 5 (53). Дата выхода в свет 31.10.2021. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Печатное издание журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.

© «Наука в центральной России», 2021

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 5 (53), 2021 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АНАШКИН Александр Витальевич – ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

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

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

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

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ТРИЕРА ПРИ МИНИМАЛЬНОМ УГЛЕ ПОДЪЕМА КРОМКИ ВЫВОДНОГО ЛОТКА……5
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИЕРА С АВТОРЕГУЛИРУЕМЫМ УПРАВЛЕНИЕМ……...12
Аксенов И.И., Оробинский В.И., Корнев А.С.
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ РЕШЕТНОГО СТАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ…….18
Ломовских А.Е., Сазонов С.Н., Новичихин В.В., Калинин Н.С., Машин В.А.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ…….……..24
Ерохин Г.Н., Коновский В.В.
О РАСХОДЕ ТОПЛИВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫМ КОМБАЙНОМ…….35
Киреев И.М., Коваль З.М., Данилов М.В.
РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЩЕЛЕВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРАЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛЯ……42
Филиппова О.Б., Фролов А.И., Бетин А.Н., Жариков В.С.
ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТЕЛОК……...48
Энговатов Д.В., Гаглоев А.Ч., Энговатов В.Ф.
ВЛИЯНИЕ СКАРМЛИВАНИЯ ПРЕСТАРТЕРНОГО КОМБИКОРМА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПОРОСЯТ-СОСУНОВ…….58
Парлюк Е.П., Пуляев Н.Н., Дидманидзе О.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТДАЧИ ЭЛЕМЕНТОВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ……...66
Парлюк Е.П.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЖИДКОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОХЛАДИТЕЛЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ……...73
Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А.
О КОРРОЗИОННЫХ ПРОБЛЕМАХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ….79
Мещеряков А.Г., Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ТРАКТОРА НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ С ВСТРОЕННЫМ МОДУЛЬНЫМ СМЕСИТЕЛЕМ…….90
Романцова С.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю.
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ХОДА РЕАКЦИИ ТРАНСЭТЕРИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ СОСТАВА СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА……96

CONTENTS

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
OPERATING PARAMETERS OF THE TRIER AT THE MINIMUM ANGLE OF LIFTING THE EDGE OF THE OUTPUT TRAY…….5
Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
SEARCH RESULTS OF TRIER WITH AUTOMATIC CONTROL……..12
Aksenov I., Orobinsky V., Kornev A.
INFLUENCE OF THE GRID MILL MOUNTING METHOD ON THE SEPARATION EFFICIENCY……..18
Lomovskih A., Sazonov S., Novichikhin V., Kalinin N., Mashin V.
PROMISING ENGINES FOR AUTOMOTIVE EQUIPMENT……..24
Erokhin G., Konovskiy V.
ABOUT FUEL CONSUMPTION FOR COMBINE HARVESTERS…….35
Kireev I., Koval' Z., Danilov M.
RATIONAL APPLICATION OF SLIT ATOMIZERS OF LIQUID FOR AEROSOL TECHNOLOGY EDGE TREATMENT OF FIELD……...42
Filippova O., Frolov A., Betin A., Zharikov V.
INNOVATIVE TECHNIQUES FOR GROWING CALVES……...…….48
Engovatov D., Gagloev A., Engovatov V.
THE EFFECT OF FEEDING PRESTARTER COMPOUND FEED ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUCKLING PIGLETS OF EARLY WEANING……...58
Parlyuk E., Pulyaev N. Didmanidze O.
DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT TRANSFER OF ELEMENTS OF THE COOLING SYSTEM OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT…….66
Parlyuk E.
APPLICATION OF NANOFLUIDS AS A COOLANT IN COOLERS FUNCTIONAL UNITS OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT……...73
Knyazeva L., Dorokhov A., Kuryato N.
ABOUT CORROSION PROBLEMS IN AGRICULTURAL PRODUCTION……...79
Meshcheryakov A., Nagornov S., Meshcheryakova Yu.
INVESTIGATION OF THE OPERATION OF TRACTOR FUEL EQUIPMENT ON MIXED FUEL WITH A BUILT-IN MODULAR MIXER……..90
Romantsova S., Nagornov S., Lixutina A., Kornev A.
METHODS FOR MONITORING THE TRANSESTERIFICATION PROGRESS AND ESTIMATING THE COMPOSITION OF MIXED FUEL…….96

УДК 631.362.34
DOI:10.35887/2305-2538-2021-5-5-12

ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ ТРИЕРА ПРИ МИНИМАЛЬНОМ УГЛЕ ПОДЪЕМА КРОМКИ ВЫВОДНОГО ЛОТКА

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

Реферат. *Обоснована необходимость дополнительных исследований процессов триерной очистки зерна на минимальном угле подъема кромки выводного лотка для оценки компромиссных решений по увеличению расходных характеристик и ограничению рисков снижения качества процессов по показателю остаточной засоренности. Установлено, что при угле подъема кромки выводного лотка $\gamma_п$ = 35° в диапазонах скоростных режимов работы n = 30-45 об/мин и подач W = 1,2-4,35 т/ч отсутствуют технологические отказы по причине завалов ячеистых цилиндров зерном. Более того, при W = 1,2 т/ч ячеистая поверхность по длине используется лишь на 40%, в три раза сокращается время стабилизации процесса в сравнении с вариантом работы при $\gamma_п$ = 45°. Однако, при этом сохраняются риски повышения показателя остаточной засоренности зерна примесями в 3,6 раза. Подтверждено, что увеличение подачи до W = 2,45 т/ч незначительно снижает эти риски. При W = 3,07 т/ч степень использования ячеистой поверхности по длине увеличивается до 90%, но остаток зерна в нем достигает 32,8 кг. С увеличением подачи до W = 3,71 т/ч полностью используется рабочая длина ячеистого цилиндра на скоростном режиме n = 30 об/мин, но время стабилизации процесса увеличивается в 4,4 раза в сравнении с вариантом работы триера при W = 1,2 т/ч, масса зернового остатка увеличивается до 47,64 кг, а технологические потери составляют около 5%. Увеличение скоростного режима лишь на 2 об/мин (до 32 об/мин) при W = 3,71 т/ч позволяет на порядок (до 0,49%) снизить технологические потери, что подтверждает необходимость авторегулируемого управления работой триера. При подаче W = 4,35 т/ч скоростной режим n = 30 об/мин недостаточен − технологические потери составляют около 23%. С увеличением n до 35 об/мин зерновой остаток в ячеистом цилиндре сокращается в 1,5 раза, а технологические потери не превышают 0,52%. При этом степень использования рабочей длины ячеистого цилиндра составляет 89%.*

Ключевые слова: *зерно, триер, очистка, качество, режимы работы, параметры настройки.*

OPERATING PARAMETERS OF THE TRIER AT THE MINIMUM ANGLE OF LIFTING THE EDGE OF THE OUTPUT TRAY

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

Abstract. *The necessity of additional studies of grains cleaning processes at the minimum angle of elevation of the edge of the output tray to assess compromise solutions to increase the consumption characteristics and limit the risks of reducing the quality of processes in terms of residual debris has been substantiated. It was found that at an angle of elevation of the edge of the output chute γ_p = 35° in the ranges of speed modes of operation n = 30-45 rpm and feed rates W = 1.2-4.35 t/h, there are no technological failures due to blockages of cellular cylinders with grain. Moreover, at W = 1.2 t/h, the cellular surface along the length is used only by 40%, the process stabilization time is three times reduced in comparison with the variant of operation at γp = 45°. However, at the same time, the risks of an increase in the indicator of residual contamination of grain with impurities by 3.6 times remain. It has*

been confirmed that increasing the flow rate to W = 2.45 t/h slightly reduces these risks. At W = 3.07 t/h, the degree of use of the cellular surface along the length increases to 90%, but the remainder of the grain in it reaches 32.8 kg. With an increase in feed to W = 3.71 t/h, the working length of the cellular cylinder at the high-speed mode n = 30 rpm is fully used, but the stabilization time of the process increases by 4.4 times in comparison with the version of the trier operation at W = 1.2 t/h, the mass of the grain residue increases to 47.64 kg, and the technological losses are about 5%. An increase in the speed mode by only 2 rpm (up to 32 rpm) at W = 3.71 t/h allows an order of magnitude (up to 0.49%) to reduce technological losses, which confirms the need for automatic control of the trier operation. When feeding W = 4.35 t/h, the speed mode n = 30 rpm is insufficient - technological losses are about 23%. With an increase in n to 35 rpm, the grain residue in the cellular cylinder is reduced by 1.5 times, and technological losses do not exceed 0.52%. In this case, the degree of utilization of the working length of the cellular cylinder is 89%.

Keywords: *grain, trier, cleaning, quality, operating modes, settings.*

Введение. На первых этапах совершенствования триерных технологий исследователи и разработчики в качестве основного направления приняли задачи интенсификации процесса разделения зерносмесей [1-4]. В этих работах много внимания уделялось движению зерна по внутренней поверхности ячеистого цилиндра, когда зерновка рассматривалась в качестве материальной точки с известными допущениями. Эти исследования послужили некоторой основой для развития теории триеров, но по содержанию они были далеки от реального технологического процесса и физико-механических свойств рабочей среды. На последующих этапах авторы [5-8] основное внимание уделяли взаимосвязям размерных характеристик зерновок с формой и размерами ячей из условий надежного захвата и стабильного их выпадения. В дальнейшем с накоплением знаний о закономерностях протекания процессов разделения зерносмесей по длине ячеистых цилиндров (степени заполнения ячей, интенсивности выделения зерновок основной культуры и примесей) [9, 10] и динамики движения разделяемых частиц в поперечном сечении ячеистых цилиндров (параметрах факела выброса частиц ячеями, эффекта инерционного удержания контактирующего слоя сегмента, эффекта динамического «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем) [11-12] исследователи стали ставить задачи управления технологическим процессом с целью повышения его эффективности и качества. В последующих работах [13,14] было установлено, что высокий уровень качества технологического процесса обеспечивается при настройках выводного лотка $\gamma_п = \gamma_{max}$ и высоких скоростных режимах работы триера. При этих режимах частотные распределения углов выпадения частиц из ячей смещаются в сторону их больших значений и гарантированно отбираются выводным лотком, а неустойчиво размещенные в ячеях примесные частицы находятся в нижних частях факела выброса и не попадают в выводной лоток с чистым зерном. Вместе с тем, указанные выше режимы работы триера ограничивают расходные характеристики и создают риски роста технологических потерь. Понижение настройки ($\gamma_п$) выводного лотка обеспечивает увеличение расходных характеристик триера, но создает риски недоиспользования длины ячеистой поверхности и, как следствие, роста показателя остаточной засоренности. Поэтому расширение базы знаний по задачам управления процессом триерной очистки зерна на минимальных настройках выводного лотка является актуальным.

Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки

Материалы и методы. Исследования проводили на экспериментальной установке

(рисунок 1), разработанной и изготовленной в ФГБНУ ВНИИТиН, включающей перевалочную норию, бункер-дозатор, авторегулируемый делитель потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой, промежуточный питатель, триер. В состав исследуемых факторов входили: подача зерна; скорость вращения ячеистого цилиндра; угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка. В экспериментах контролировались следующие параметры: частота тока, подаваемого на привод частотным преобразователем *VF-S11*; время стабилизации процесса; длина используемой ячеистой поверхности; масса зернового остатка в ячеистом цилиндре; технологические потери сходом. Измерения проводили с использованием электронных весов НПВ 20/60, электронного тахометра, встроенных линейных и круговых шкал, фоторегистрации. Управление скоростным режимом осуществлялось дистанционно с использованием переменного резистора.

Результаты и их обсуждение. Снижение угла ($\gamma_п$) подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно горизонта ограничивается следующими отрицательными последствиями: в овсюжном цилиндре возрастает вероятность захвата длинных примесей контактирующим слоем сегмента и их заброса в выводной лоток из нижней части факела; в широком диапазоне загрузки триера по производительности использование ячеистой поверхности по длине является частичным, что создает риски захвата длинных примесей на свободном (условно) участке ячеистой поверхности и их последующего заброса в выводной лоток с чистым зерном; ограничивается зона управления работы триера по расходным характеристикам без риска существенного снижения качества процесса.

Таблица 1 – Зависимость показателей работы триера ($П$, $l_к$, $M_ц$, $t_{ст}$) от n и W при $\gamma_п$ = 35°

№ п/п	Подача (W), т/ч (кг/с)	Скорость (n), об/мин	Частота тока, f, Гц	Время стабилизации ($t_{ст}$), с	Длина клина зерна ($l_к$), м	Остаток зерна в цилиндре ($M_ц$), кг	Потери зерна сходом ($П$), %
1	1,20 (0,33)	30	31,8	50	90	4,27	0,04
2		35	37,3	35	80	3,12	0,08
3		40	42,4	30	80	2,85	0,16
4		45	47,4	30	80	2,57	0,28
5	1,83 (0,51)	30	31,8	100	140	9,91	0,05
6		35	37,3	55	120	6,19	0,05
7		40	42,4	45	105	5,08	0,13
8		45	47,5	40	100	4,50	0,24
9	2,45 (0,68)	30	31,8	115	155	19,09	0,14
10		35	37,3	70	135	9,37	0,10
11		40	42,4	45	125	8,16	0,18
12		45	47,5	40	115	6,68	0,25
13	3,07 (0,85)	30	31,8	160	**200**	32,8	0,39
14		35	37,3	88	150	17,05	0,16
15		40	42,4	56	135	11,68	0,20
16		45	47,5	48	130	9,12	0,25
17	3,71 (1,03)	***29,5***	***31,8***	***220***	***225***	***47,64***	***4,71***
18		35	37,3	104	165	25,44	0,28
19		40	42,4	84	155	17,06	0,23
20		45	47,5	48	140	12,84	0,28
21	4,35 (1,21)	***30***	***32,0***	***270***	***225***	***60,75***	***22,95***
22		35	37,3	150	200	36,94	0,52
23		40	42,4	120	175	24,44	0,33
24		45	47,5	70	160	18,53	0,33
25	3,71	32	34,2	150	**215**	37,34	0,49

В опытах № 17 и 21 наблюдался аварийный режим.

В опытах № 13, 22 и 25 наблюдался оптимальный или близкий к оптимальному режим.

В эксперименте в качестве нижнего уровня исследуемого фактора выбрана величина $\gamma_п$ = 35°, таблица 1. Принципиальными отличиями характеристик технологического процесса при $\gamma_п$ = 35° (в сравнении с процессом при $\gamma_п$ = 45-55°) являются: отсутствуют технологические отказы в диапазонах скоростных режимов (n = 30-45 об/мин) и подач (W = 1,2-4,35 т/ч); неприемлемый уровень технологических потерь ($П$ = 22,95%) наблюдается лишь при максимальной подаче (W = 4,35 т/ч) и минимальном скоростном режиме работы (n = 30 об/мин); существенно снижается время стабилизации процесса; сокращается степень использования ячеистой поверхности.

Время стабилизации ($t_{ст1}$) процесса с подачей W = 1,2 т/ч на минимальном скоростном режиме работы триера (n = 30 об/мин) при $\gamma_п$ = 35° в три раза меньше, чем при $\gamma_п$ = 45°. Рабочая длина ($l_к$) ячеистой поверхности сокращается в 1,72 раза и составляет 40% общей длины ($L_ц$) ячеистого цилиндра. Технологические потери ($П$) незначительны – с ростом скоростного режима от 30 до 45 об/мин они изменяются в диапазоне 0,04-0,28%. Сокращение $l_к$ до 40% от $L_ц$ ограничивает выбор настройки выводного лотка с величиной $\gamma_п$ = 35° из-за рисков роста остаточной засоренности ($З_о$) при свободной (условно) длине ячеистой поверхности в 0,6 $L_ц$. Потенциально качество зерна по показателю остаточной засоренности снизится в 3,6 раза [9, 10].

С увеличением подачи до W = 1,83 т/ч время стабилизации рабочего процесса при $\gamma_п$ = 35° увеличивается в 1,5-2 раза. Максимальное увеличение времени стабилизации процесса ($t_{ст5}$) наблюдается при минимальном скоростном режиме работы триера (n = 30 об/мин). Рабочая поверхность ячеистого цилиндра с подачей W = 1,83 т/ч в сравнении с вариантом его использования при минимальной подаче увеличивается на 25-56%, но степень ее использования остается низкой – 44-62%. Технологические потери находятся в пределах 0,05-0,24%. Их увеличение с ростом n объясняется увеличением свободной (условно) части ячеистой поверхности, на которой зерновки основной культуры подвергаются большему динамическому воздействию, что способствует росту их схода.

При W = 2,45 т/ч время стабилизации процесса увеличивается дополнительно, но несущественно – до 15% в сравнении с вариантом, когда W = 1,83 т/ч. В той же степени увеличивается и рабочая длина ячеистого цилиндра – до 51-69%. Технологические потери во всем диапазоне скоростных режимов при W = 2,45 т/ч не превышают 0,25%. Недостаточно высокая степень использования длины ячеистой поверхности во всем диапазоне скоростных режимов работы триера при $\gamma_п$ = 35° и W = 2,45 т/ч сохраняет риски снижения качества процесса по показателю $З_о$.

Дальнейшее увеличение подачи (W = 3,07 т/ч) приводит к росту времени стабилизации на минимальном скоростном режиме работы триера до 160 с – это в 3,2 раза больше, чем при W = 1,2 т/ч. Использование длины ячеистого цилиндра увеличивается до 90%, однако остаток зерна в цилиндре возрастает до 32,8 кг, а технологические потери – до 0,39%. На более высоких скоростных режимах работы триера остаток зерновой массы в ячеистом цилиндре сокращается до 9-12 кг, сокращаются и технологические потери в 1,5 раза, но существенно снижается степень использования рабочей длины ячеистого цилиндра, что увеличивает риски повышения $З_о$ за счет захвата длинных примесных частиц в овсюжном цилиндре на свободном (условно) участке и последующего их заброса в выводной лоток с чистым зерном.

При W = 3,71 т/ч на минимальном скоростном режиме работы триера полностью используется длина ячеистого цилиндра, но время стабилизации процесса увеличивается до 220 с, масса зернового остатка в ячеистом цилиндре увеличивается до 47,64 кг, а технологические потери составляют около 5%. Увеличение скоростного режима работы триера до $n \geq 35$ об/мин существенно снижает технологические потери до 0,28-0,23%, в 2-4 раза сокращает величину зернового остатка в ячеистом цилиндре, но степень использования рабочей длины ячеистого цилиндра снижается до 62-73%, что увеличивает риски увеличения остаточной засоренности зерна.

Причем, весомость приращения остаточной засоренности зерна может по значимости перевешивать технологические потери, которые близки к 5%. Поисковыми опытами был установлен оптимальный скоростной режим работы триера (n = 32 об/мин), при котором степень использования рабочей длины ячеистого цилиндра достигает 95,6%, а технологические потери не превышают 0,49%. Эти результаты подтверждают необходимость авторегулируемого управления

работой триера по скоростному режиму работ, подтверждают чувствительность технологического процесса к этой настройке.

На максимальной подаче (W = 4,35 т/ч) и минимальном скоростном режиме работы триера (n = 30 об/мин) технологические потери становятся неприемлемо большими – около 23%. А величина зернового остатка в ячеистом цилиндре превышает 60 кг. С увеличением скоростного режима работы триера до 35 об/мин величина зернового остатка в ячеистом цилиндре снижается в 1,5 раза, а технологические потери не превышают 0,52%. При этом степень использования рабочей длины ячеистого цилиндра находится на уровне 89%, что обеспечивает минимальные риски роста остаточной засоренности за счет захвата длинных частиц свободной (условно) частью ячеистой поверхности и их заброса в выводной лоток с чистым зерном.

Сравнительная динамика стабилизации процесса триерной очистки зерна при $W = W_{min}$ и $W = W_{max}$ представлена на рисунках 2 и 3. Оценка факторов стабилизации процесса, представленная на рисунках 2 и 3, необходима для выработки решений по повышению качества авторегулирования работы триера при существенной вариативности этих факторов в условиях реальной эксплуатации. Для условий реализации процесса триерной очистки зерна при n = 30 об/мин, $\gamma_п$ = 35°, W = 4,35 т/ч неизбежен технологический отказ по неприемлемой величине технологических потерь сходом ($W_{сх}$). Поэтому время стабилизации процесса оценено по совокупности функций $Q = f_1(t)$ и $W_{сх} = f_2(t)$, рисунок 3.

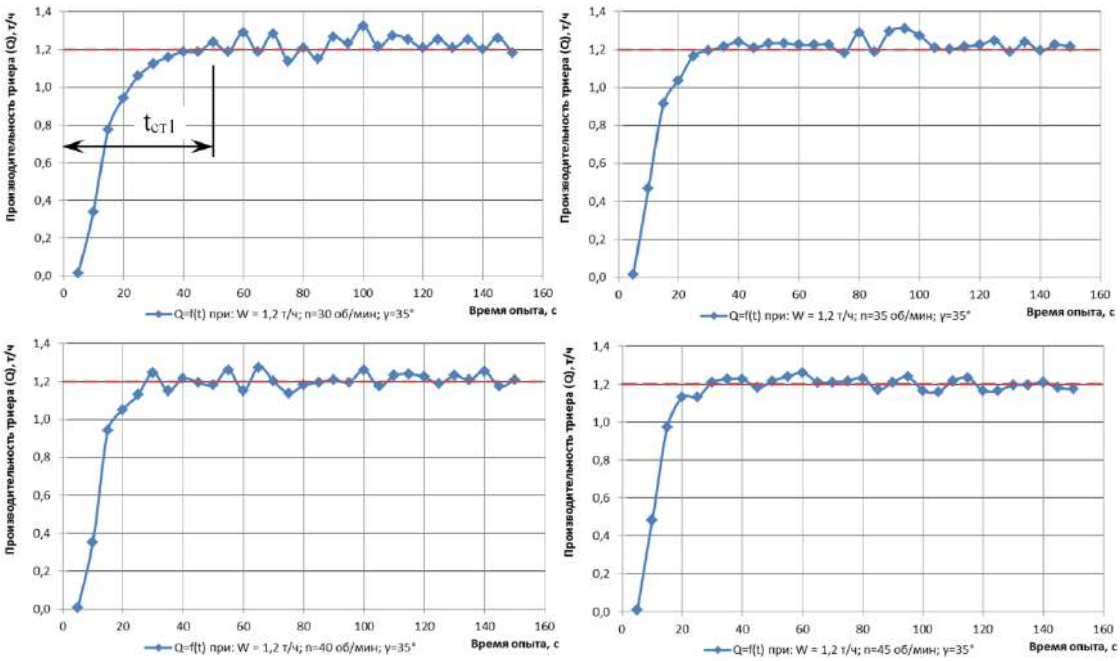


Рисунок 2 – Взаимосвязь $t_{ст}$ с n при $\gamma_п$ = 35° и W = 1,2 т/ч

При сравнительной оценке показателей работы триера в зависимости от величины $\gamma_п$ следует отметить, что в диапазоне подач W = 2,45-4,35 т/ч на минимальном скоростном режиме работы (n = 30 об/мин) при $\gamma_п$ = 45° наступает технологический отказ (завал ячеистых цилиндров зерносмесью). С ростом $\gamma_п$ до 55°, исходя из ожиданий снижения остаточной засоренности зерна за счет отбора в лоток верхней части факела выброса частиц, технологический отказ наступает и при более высоком скоростном режиме работы триера (n = 35 об/мин) в диапазоне подач W = 3,07-4,35 т/ч. Величина зернового остатка в ячеистом цилиндре с настройкой $\gamma_п$ = 55° сохраняется на значительном уровне (10-31 кг) даже при более высоких скоростных режимах работы триера (n = 40-45 об/мин), а величина технологических потерь обеспечивается на сопоставимом уровне с

вариантом настройки $\gamma_п$ = 35°. По совокупности показателей работы триера его настройки с $\gamma_п$ = 45° и 55° предпочтительнее, чем настройка $\gamma_п$ = 35°.

Выводы. Понижение угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка обеспечивает рост расходных характеристик триера при допустимых значениях технологических потерь. Однако, при малых и средних уровнях загрузки триера степень использования ячеистой поверхности по длине остается недостаточной, что создает риски увеличения остаточной засоренности зерна длинными примесями.

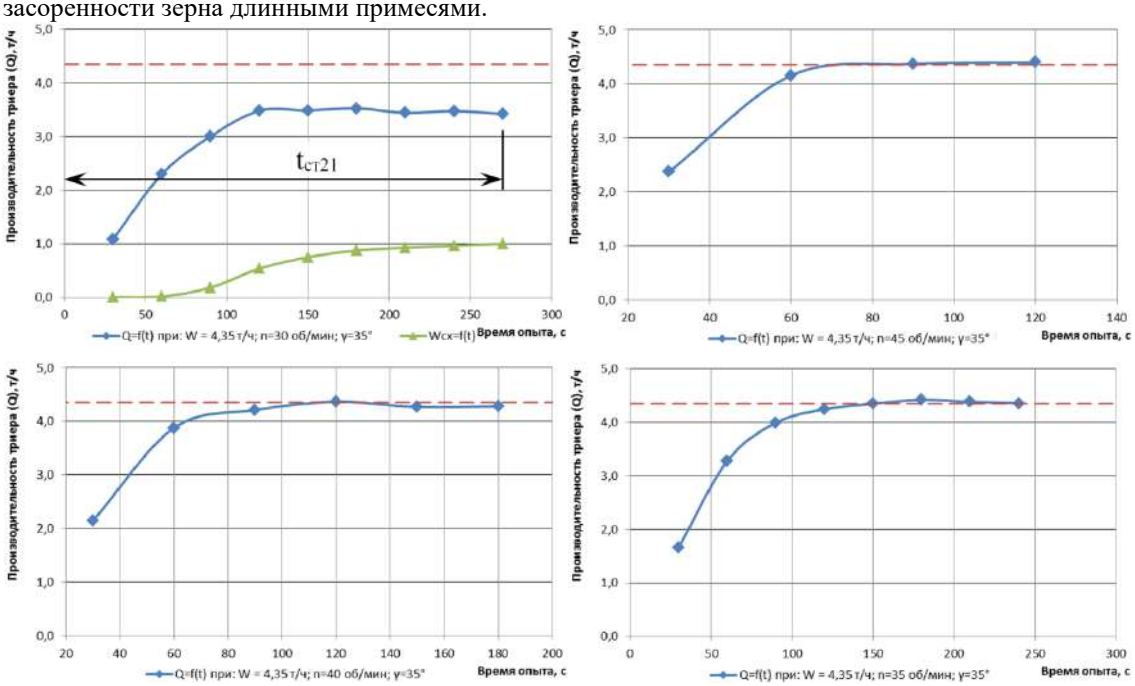


Рисунок 3 – Взаимосвязь $t_{ст}$ с n при $\gamma_п$ = 35° и W = 4,35 т/ч

Поэтому возможности использования триеров с пониженной настройкой выводного лотка с целью повышения его производительности ограничиваются избыточным содержанием примесей в исходной зерносмеси и расширяются при понижении требований к остаточной засоренности зерна.

Список литературы

1. Полетаев С.В. Применение, устройство и расчет триеров // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин: тр. ВНИИ с/х машиностроения. – М., Л.: Сельхозиздат, 1936. – Т. 3. – С. 587-627.

2. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра // Сборник науч.-технич. работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып. 7.

3. Тиц, З.Л. Пути развития конструкции триеров // Механизация социалистического сельского хозяйства. − 1934. − № 11.

4. Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3-х томах. – М.: Колос. – 1965. – Т. 1. – С. 244-253; – Т. 2. – С. 179-185.

5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям с-х. машин. – Киев. − Изд-во УАСХ, 1960.

6. Викторова Н.Н. Экспериментальные исследования продолжительности одного цикла движения зерна в цилиндре триера //Труды ЧИМ ЭСХ. – Челябинск, 1958, вып. 5.

7. Викторова Н.Н. Влияние скорости вращения на эффективность работы триерных цилиндров // Труды ЧИМ ЭСХ. – Челябинск, 1958. – Вып. 6.

8. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1983. – 495 с.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Влияние высоты зернового слоя в овсюжном триере на остаточное содержание длинных примесей // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 19-26.

10. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь производительности триера с режимами работы // Наука в центральной России. – 2018. – № 3 (33). – С. 12-20.

11. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ способов управления качеством триерной очистки зерносмесей // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 88-94.

12. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 28-34.

13. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь качества триерной очистки с концентрацией длинной примеси // Наука в центральной России. − 2020. − № 3 (45). − С. 60-67.

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

References

1. Poletaev S.V. Primenenie, ustrojstvo i raschet trierov // Teoriya, konstrukciya i proizvodstvo sel'skohozyajstvennyh mashin: tr. VNII s/h mashinostroeniya. – M., L.: Sel'hozizdat, 1936. – T. 3. – S. 587-627.

2. Letoshnev M.N. O dvizhenii zerna vnutri gorizontal'nogo vrashchayushchegosya cilindra // Sbornik nauch.-tekhnich. rabot Leningradskogo instituta mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. – Sel'hozgiz, 1950. – Vyp. 7.

3. Tic, Z.L. Puti razvitiya konstrukcii trierov // Mekhanizaciya socialisticheskogo sel'skogo hozyajstva. − 1934. − № 11.

4. Goryachkin V.P. Sobranie sochinenij: V 3-h tomah. – M.: Kolos. – 1965. – T. 1. – S. 244-253; – T. 2. – S. 179-185.

5. Vasilenko P.M. Teoriya dvizheniya chasticy po sherohovatym poverhnostyam s-h. mashin. – Kiev. − Izd-vo UASKH, 1960.

6. Viktorova H.H. Eksperimental'nye issledovaniya prodolzhitel'nosti odnogo cikla dvizheniya zerna v cilindre triera //Trudy CHIM ESKH. – CHelyabinsk, 1958, v'p. 5.

7. Viktorova H.H. Vliyanie skorosti vrashcheniya na effektivnost' raboty triernyh cilindrov // Trudy CHIM ESKH. – CHelyabinsk, 1958. – Vyp. 6.

8. Karpenko A.N., Halanskij V.M. Sel'skohozyajstvennye mashiny. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos. – 1983. – 495 s.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Vliyanie vysoty zernovogo sloya v ovsyuzhnom triere na ostatochnoe soderzhanie dlinnyh primesej // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 4 (40). – S. 19-26.

10. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Vzaimosvyaz' proizvoditel'nosti triera s rezhimami raboty // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 3 (33). – S. 12-20.

11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analiz sposobov upravleniya kachestvom triernoj ochistki zernosmesej // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 4 (28). – S. 88-94.

12. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Upravlenie raskhodnymi harakteristikami triera polozheniem vyvodnogo lotka // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 2 (32). – S. 28-34.

13. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Vzaimosvyaz' kachestva triernoj ochistki s koncentraciej dlinnoj primesi // Nauka v central'noj Rossii. − 2020. − № 3 (45). − S. 60-67.

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

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Анашкин Александр Витальевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-

исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: av-anashkin@mail.ru.

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

Author credentials
Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 03.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 07.10.2021

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-12-18

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИЕРА С АВТОРЕГУЛИРУЕМЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

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

Реферат. *Представлены методические предпосылки к обоснованию условий и последовательности этапов исследований, критериев оценки процесса и состава исследуемых факторов. В качестве основных этапов исследований предусмотрены: установление величины подачи зерна из бункера - питателя в авторегулируемый делитель с величиной управляющего воздействия; отыскание взаимосвязи шкалы переменного резистора с диапазонами скоростей работы триера на холостом ходу и под нагрузкой; установление взаимосвязей режимов работы и настроечных параметров триера с критериями оптимизации авторегулируемого триерного процесса очистки зерна. Установлено, что при загрузке триера в 1,2 т/ч ячеистая поверхность используется лишь на 38-69% во всем диапазоне скоростных режимов работы, что повышает риски роста остаточной засоренности зерна длинными примесями. При загрузке триера в 1,2-1,83 т/ч технологические потери сходом не превышают 1%. В диапазоне подач зерна в триер – W=2,45-4,35 т/ч на минимальном скоростном режиме работы происходит технологический отказ в виде завала ячеистого цилиндра зерном, так как лопастная розетка не обеспечивает отвод схода. Для положения выводного лотка ($\gamma_n=45^0$) и загрузки W=1,83-4,35 т/ч оптимальный диапазон скоростных режимов работы составляет n=31-35 об/мин. При $\gamma_n=55^0$ и W=2,45-3,71 т/ч оптимальный режим работы составляет n=36-38 об/мин. В этих условиях протекания процесса триерной очистки зерна технологические потери составляют 0,82-1,13%, а использование рабочей длины ячеистого цилиндра достигает 93-98%, что повышает качество зерна по остаточной засоренности. При управлении процессом триерной очистки зерна связь режима загрузки триера с управляющим воздействием обеспечивается созданными в ФГБНУ ВНИИТиН авторегулируемыми делителями, а функционально необходимая коррекция*

скоростного режима работы обеспечивается исполнительным механизмом, включающим переменный резистор и частотный преобразователь.

Ключевые слова: *триер, процесс, качество, управление, авторегулирование, эффективность.*

SEARCH RESULTS OF TRIER WITH AUTOMATIC CONTROL

[1]Tishaninov Nikolay
[1]Anashkin Alexander
[1]Emelyanovich Sergey
[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract. *The methodological prerequisites for substantiating the conditions and sequence of research stages, criteria for evaluating the process and the composition of the factors under study are presented. Establishing the amount of grain supply from the hopper - feeder to the auto-adjustable divider with the magnitude of the control action; finding the relationship of the scale of the variable resistor with the ranges of speeds of the trier operation at idle and under load; the establishment of interrelationships between operating modes and tuning parameters of the grader with the optimization criteria for the auto-regulated grading process of grain cleaning are provided as the main stages of research. It has been established that when the trier is loaded at 1.2 t / h, the cellular surface is used only by 38-69% in the entire range of speed modes of operation, which increases the risks of growth of residual grain contamination with long impurities. When loading a trier of 1.2-1.83 t / h, technological losses do not exceed 1%. In the range of grain supply to the grains - W = 2.45-4.35 t / h at the minimum high-speed operating mode, a technological failure occurs in the form of a blockage of the cellular cylinder with grain, since the blade rosette does not provide a drainage outlet. The optimal range of high-speed operating modes is n = 31-35 rpm for the position of the output tray (γn = 450) and loading W = 1.83-4.35 t / h The optimal operating mode is n = 36-38 rpm at γn = 550 and W = 2.45-3.71 t / h. Under these conditions, the process of grain cleaning of grain, technological losses are 0.82-1.13%, and the use of the working length of the cellular cylinder reaches 93-98%, which increases the quality of the grain in terms of residual contamination. The connection between the loading mode of the trier and the control action is provided by the auto-adjustable dividers created at the Federal State Budgetary Scientific Institution VNIITiN, and the functionally necessary correction of the high-speed mode of operation is provided by the actuator, which includes a variable resistor and a frequency converter when controlling the process of grain cleaning*

Keywords: *trier, process, quality, control, auto-regulation, efficiency.*

Введение. Существующие триерные технологии очистки зерна используются неэффективно. Для них характерны высокие технологические потери и низкое качество процесса [1, 2]. Эффективное использование триеров требует тщательного выбора режимов работы и настроечных параметров. Эта связь весьма чувствительна, а необходимые средства контроля и управления технологическим процессом отсутствуют [3-5]. Перспектива решения этой проблемы появилась с созданием в ФГБНУ ВНИИТиН нового класса техники – авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов [6, 7]. Они позволяют обеспечить взаимосвязь подачи зерна в технологические машины с величиной управляющего воздействия, а последнее посредством исполнительного механизма может корректировать скоростной режим работы триера [8]. База знаний для установления указанных выше связей недостаточна. Объем результатов исследований триерных процессов, содержащийся в основополагающих работах [9-12], не позволяет обосновать даже регламенты работы триерных блоков. Поэтому исследования триера с авторегулируемым управлением актуальны.

Материалы и методы. Стендовое оборудование для исследований ячеистых поверхностей. Средства управления технологическим процессом триерной очистки зерна, включающие: авторегулируемый делитель потока сыпучих материалов, электронный тахометр, переменный резистор, частотный преобразователь. Для обработки результатов исследований использовались методы математической статистики.

Результаты и обсуждение. Поисковая серия опытов была направлена на установление времени и особенностей стабилизации процесса в овсюжном цилиндре после начала подачи в него зерна при различных значениях производительности и скорости его вращения. При этом угловое положение выводного лотка γ_n было зафиксировано на уровне 45^0 от горизонта. Выявленная динамика процесса от начала загрузки ячеистого цилиндра зерном до его стабилизации по производительности представлена на рисунке 1.

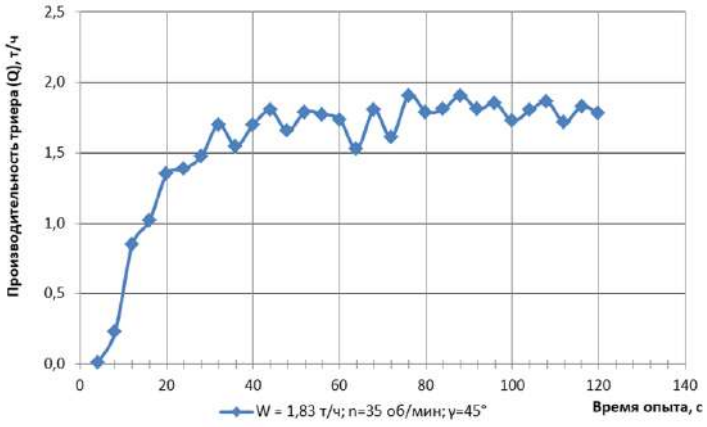


Рисунок 1 – Динамика выделения зерновок пшеницы из зерносмеси

В задачи этой серии опытов входило отыскание так называемых «контрольных состояний», соответствующих режимам загрузки и работы триера, при которых вся длина ячеистой поверхности задействована. В этом состоянии зерновой клин, сформированный внутри ячеистого цилиндра, доходит до противоположного его торца от места загрузки зерна. Соответствующие указанному состоянию скоростной режим (n) и величину подачи зерна (W) в триер во взаимосвязи между собой нами принято считать близкими к оптимальным.

Установленные оптимальные сочетания W и n во всем диапазоне исследуемых факторов являются исходными данными для определения взаимосвязей величины смещения стабилизирующей емкости по вертикали с W и n, а также параметрами передаточного механизма на переменный резистор, который передает управляющее воздействие на частотный преобразователь. При этом указанные взаимосвязи должны обеспечивать автоматическую регулировку скорости вращения ячеистого цилиндра, обеспечивая оптимальные режимы работы по качественным показателям очистки зерна.

Установлено, что на малых подачах зерна в ячеистый цилиндр (W = 1,2 т/ч) его рабочая поверхность по длине загружена лишь частично. Она уменьшается с ростом скоростного режима в диапазоне n = 30-45 об/мин от 1,55 м до 0,85 м. То есть используется на 69-38%. Следует заметить, что наибольшая интенсивность снижения использования рабочей длины ячеистой поверхности наблюдается в первом интервале приращения скоростного режима – от 30 до 35 об/мин. При последующем росте скоростного режима сокращение рабочей длины ячеистой поверхности становится несущественным. Это объясняется тем, что величина циркулирующей массы зерна в ячеистом цилиндре с ростом скоростного режима снижается, что приводит к росту динамического воздействия ячей на контактирующие с ними зерновки. При этом вероятность захвата зерновок ячеями снижается, что нивелирует прирост расходных характеристик триера за счет скоростного режима.

При подачах в диапазоне 1,2-2,45 т/ч величина технологических потерь сходом имеет приемлемые значения – не более 1%. Однако, в указанном диапазоне подач существенная доля рабочей длины ячеистого цилиндра (до 62%) имеет маловероятную степень заполнения ячей зерновками, что создает риски захвата длинных примесей и подачи их в выводной лоток с чистым зерном.

При росте подачи до W=3,07 т/ч минимальный скоростной режим работы триера становится недостаточным для обеспечения качества технологического процесса – потери сходом достигают 32,5%. С ростом скоростного режима до 35 об/мин (на 17%) технологические потери резко снижаются (до 0,27%), а зерновой клин занимает лишь 73% рабочей длины ($l_р$) ячеистого цилиндра. Этот результат подтверждает актуальность проблемы управления процессом триерной очистки зерна, когда взаимосвязь скоростного режима с подачей зерна в ячеистый цилиндр критически меняет качественные показатели работы.

При подаче W=4,35 т/ч минимальный скоростной режим не может быть меньше 35 об/мин. Этот скоростной режим обеспечивает полное использование рабочей длины ячеистого цилиндра и приемлемый уровень технологических потерь – 1,19%. С ростом скоростного режима до 40-45 об/мин даже при W=4,35 т/ч наблюдается неполное использование рабочей длины ячеистого цилиндра, что повышает риски снижения качества технологического процесса по остаточной засоренности из-за захвата длинных примесей на участке с маловероятным заполнением ячей зерновками основной культуры.

Во второй части поисковых экспериментов каждой величине подачи (W) подбирался необходимый скоростной режим, при котором обеспечивались лучшие качественные показатели работы триера по технологическим потерям и остаточной засоренности. В результате установлен оптимальный диапазон скоростных режимов, который находится в пределах n=31-35 об/мин при $\gamma_n=45^0$.

Поисковые исследования подтвердили, что на малых подачах (<1,8 т/ч) риски снижения качества технологического процесса по остаточной засоренности сохраняются даже на минимальных скоростных режимах работы триера. На подачах W≥2,45 т/ч при минимальном скоростном режиме (n=30 об/мин) лопастная розетка не обеспечивает отвод схода – ячеистый цилиндр начинает заваливаться зерном, наступает технологический отказ. С ростом W от 1,2 до 3,07 т/ч масса зернового клина внутри ячеистого цилиндра ($М_ц$) возрастает с 9,73 до 46,38 кг (в 4,8 раза).

Причиной технологического отказа триера является не только пониженный скоростной режим работы триера (n) относительно подачи (W), но и завышенная величина угла (γ_n) подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно горизонта. Так при $\gamma_n=55^0$ масса зернового клина в ячеистом цилиндре ($М_ц$) постоянно возрастает. За первые 75 с опыта ($t_{оп}$) она достигает 21,9 кг при технологических потерях сходом П=0,3%, рисунок 2. В последующие 75 с опыта $М_ц$ увеличивается до 30,3 кг, а технологические потери – до 25,5%, рисунок 3.

Рисунок 2 – Зерновой клин за $t_{оп}$=75 с при W=1,2 т/ч и n=30 об/мин

Рисунок 3 – Зерновой клин за $t_{оп}$=150 с при W=1,2 т/ч и n=30 об/мин

С ростом $M_ц$ лопастная розетка также не обеспечивает отвод схода зерна и наступает технологический отказ триера.

Увеличение γ_n с 45^0 до 55^0 даже при W=1,2 т/ч и минимальном скоростном режиме работы триера (n=30 об/мин) приводит к росту технологических потерь до 51,1%. Увеличение W до 2,45 т/ч на этой режимной настройке триера приводит к технологическому отказу (завалу ячеистого цилиндра). При W=3,71-4,35 т/ч технологический отказ наступает даже при более высоком скоростном режиме – n=35 об/мин.

Оптимальная загрузка триера при $\gamma_n=55^0$ составляет 2,45-4,35 т/ч, когда использование рабочей длины ячеистого цилиндра составляет 93-98%, обеспечивая минимальные риски роста остаточной засоренности зерна длинными примесями, а технологические потери находятся в пределах 0,82-1,13%. Скоростной режим работы триера при этом изменяется в диапазоне 36-40 об/мин пропорционально величинам W.

Выводы. Показатели качества работы триеров очень чувствительны относительно режимов их работы и настроечных параметров. Без эффективных средств управления процессом триерной очистки зерна в подавляющем числе случаев реальной эксплуатации триерных блоков (до 90%) наступает технологический отказ – ячеистые цилиндры заваливаются зерном. Чрезмерное понижение загрузки триеров с целью устранения постоянного технологического отказа приводит к снижению эффективности использования зерноочистительных агрегатов и качества зерна по показателю остаточной засоренности. Возможности управления триерными технологиями появляются с созданием авторегулируемых делителей потока зерна, которые позволяют связать величину загрузки триеров с управляющим воздействием, преобразуемым посредством исполнительного механизма (переменного резистора и частотного преобразователя) в коррекцию скоростного режима работы. При этом обеспечивается снижение технологических потерь (до 1%) и рисков увеличения остаточной засоренности зерна длинными примесями.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизация триерного блока // Сельский механизатор. – 2015. – № 11. – С. 14-15.

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

3. Динамика и качество триерного выделения семян проса из ячменя / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д. // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 1 (53). – С. 71-75.

4. Динамика и качество триерного выделения семян вики из ячменя / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д. // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 1 (53). – С. 76-81.

5. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмесей с длинными примесями // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 3 (47). – С. 74-77.

6. Патент № 2341954 Российская Федерация. Устройство для разделения потока сыпучих материалов: № 2006146774/12, заявл. 26.12.2006; опубл. 27.12.2008 / Завражнов А.И., Тишанинов К.Н.

7. Патент № 2437271 Российская Федерация. Устройство для разделения потока сыпучих материалов: № 2010107918/13; заявл. 03.03.2010; опубл. 27.12.2011 / Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н.

8. Патент № 2737754 Российская Федерация. Триер: – № 2020121894; заявл. 26.06.2020; опубл. 02.12.2020 / Тишанинов Н.П.

9. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М., Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.

10. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – Изд. 4-е, доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.

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

12. Урханов Н.А. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с целью повышения производительности и качества разделения смеси: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – 1968. – 130 с.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizaciya triernogo bloka // Sel'skij mekhanizator. – 2015. – № 11. – S. 14-15.

2. Tishaninov N.P. Instrumenty poznaniya i progress // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2019. – № 3 (47). – S. 65-73.

3. Dinamika i kachestvo triernogo vydeleniya semyan prosa iz yachmenya / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Al'shinajiin H.D.D. // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2021. – № 1 (53). – S. 71-75.

4. Dinamika i kachestvo triernogo vydeleniya semyan viki iz yachmenya / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Al'shinajiin H.D.D. // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2021. – № 1 (53). – S. 76-81.

5. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Intensivnost' vydeleniya zernovok osnovnoj kul'tury iz zernosmesej s dlinnymi primesyami // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2019. – № 3 (47). – S. 74-77.

6. Patent № 2341954 Rossijskaya Federaciya. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov: № 2006146774/12, zayavl. 26.12.2006; opubl. 27.12.2008 / Zavrazhnov A.I., Tishaninov K.N.

7. Patent № 2437271 Rossijskaya Federaciya. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov: № 2010107918/13; zayavl. 03.03.2010; opubl. 27.12.2011 / Tishaninov N.P., Tishaninov K.N.

8. Patent № 2737754 Rossijskaya Federaciya. Trier: – № 2020121894; zayavl. 26.06.2020; opubl. 02.12.2020 / Tishaninov N.P.

9. Letoshnev M.N. Sel'skohozyajstvennye mashiny, teoriya, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M., L.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.

10. Sokolov A.YA. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniyu i pererabotke zerna. – Izd. 4-e, dop. i pererab. – M.: Kolos, 1975. – 495 s.

11. Lur'e A.B. Raschet i konstruirovanie sel'skohozyajstvennyh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526 s.

12. Urhanov N.A. Issledovanie tekhnologicheskogo processa raboty cilindricheskogo triera s cel'yu povysheniya proizvoditel'nosti i kachestva razdeleniya smesi: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. – 1968. – 130 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

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

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 07.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021

УДК 631.362.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-18-23

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ РЕШЕТНОГО СТАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ

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

Реферат. *В сельском хозяйстве, обработка зернового вороха после комбайна осуществляется в основном решетными зерноочистительными машинами, процесс работы которых связан с высокой вибрационной нагрузкой. Для снижения уровня общей вибрации при сохранении штатных показателей сепарируемости предлагается использовать конструкцию гофрированного пневмоцилиндра, на который монтируется решетный стан. Эффективность работы предлагаемой конструкции была проверена опытным путем с использованием лабораторной установки, моделирующей работу фракционной зерноочистительной машины ОЗФ-80. Подача зернового вороха из бункера на сито с размером отверстий решет в 2,8 мм составляла 15 т/ч. Частота колебаний решетного стана варьировалась от 300 до 450 мин$^{-1}$, с интервалом 25 мин$^{-1}$, амплитуда колебаний составляла 16 и 28 мм. Установлено, что предлагаемая конструкция крепления решетного стана к раме зерноочистительной машины дает лучшие показатели сепарирования зерновой смеси. С увеличением частоты колебаний эксцентрикового механизма с 300 мин$^{-1}$ до 450 мин$^{-1}$ эффективность использования гофрированного пневмоцилиндра увеличивается от 3,3% до 17,8 % при амплитуде 16 мм и от 5,5 % до 14,3% при амплитуде 28 мм, в сравнении со стандартным подвешиванием решетного стана на плоских упругих подвесках. Объяснить такое различие по коэффициенту сепарации можно снижением уровня вредной вибрации за счет гашения колебаний гофрированным пневмоцилиндром. Внедрение в конструкцию воздушно решётной зерноочистительной машины серии ОЗФ, предложенного технического решения для крепления решетного стана на гофрированном пневмоцилиндре, обеспечит требуемую эффективность процесса сепарации не зависимо от режимов ее работы, за счет снижения уровня вибрации машины и в целом зерноочистительного агрегата.*

Ключевые слова: *вибрация, коэффициент сепарации, решетный стан, пневмоцилиндр, зерноочистительная машина*

INFLUENCE OF THE GRID MILL MOUNTING METHOD ON THE SEPARATION EFFICIENCY

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

Abstract. *The processing of the grain heap after the combine is carried out mainly by sieve grain cleaning machines, the process of which is associated with a high vibration load, in agriculture. It is proposed to use the design of a corrugated pneumatic cylinder, on which the sieve mill is mounted, to*

reduce the level of general vibration while maintaining the standard indicators of separability. The efficiency of the proposed design was tested empirically using a laboratory setup that simulates the operation of a fractional grain cleaning machine OZF-80. The feed of the grain heap from the hopper to the sieve with the size of the sieve holes in 2.8 mm was 15 t/h. The oscillation frequency of the grating mill varied from 300 to 450 min-1, with an interval of 25 min-1, the oscillation amplitude was 16 and 28 mm. It is established that the proposed design of fixing the sieve mill to the frame of the grain cleaning machine gives the best indicators of separation of the grain mixture. The efficiency of using a corrugated pneumatic cylinder increases from 3.3% to 17.8% at an amplitude of 16 mm and from 5.5% to 14.3% with an increase in the vibration frequency of the eccentric mechanism from 300 min^{-1} to 450 min^{-1} at an amplitude of 28 mm, in comparison with standard suspension of the sieve bed on flat elastic hangers. This difference in the separation coefficient can be explained by reducing the level of harmful vibration due to vibration damping by a corrugated pneumatic cylinder. The introduction of the proposed technical solution for fixing the grating mill on a corrugated pneumatic cylinder into the design of the air-sieve grain cleaning machine of the OZF series will ensure the required efficiency of the separation process, regardless of its operating modes, by reducing the vibration level of the machine and the grain cleaning unit as a whole.

Key words: *vibration, separation coefficient, sieve mill, pneumatic cylinder, grain cleaning machine.*

Введение. Качественная обработка зернового вороха после комбайна имеет особое значение для растениеводческой отрасли. От эффективности работы решетных зерноочистительных машин, в основном используемых для этой цели, зависит дальнейший путь зернового материала по технологической линии. Оптимальный вариант заключается в 100 процентном отделении примесей органического и неорганического содержания, а также неполноценного зерна от товарного и фуражного зерна [1, 6, 8, 9]. При этом, в процессе обработки целесообразно минимизировать травмирование зернового материала. Достигнуть такого эффекта на известных конструкциях зерноочистительных машин для послеуборочной обработки зерна пока не получилось, причиной тому служат несколько факторов, одним из которых является возникновение вредной вибрации при работе решетного стана. Поэтому снижение вредной вибрации при работе зерноочистительных машин актуальная задача, для решения которой требуется внедрение в рабочую конструкцию зерновых сепараторов устройств, способных снизить негативные вибрационные колебания.

Конструкция зерноочистительных машин в России и мире в целом чрезвычайна разнообразна, постоянно совершенствуется и модернизируется. Тем не менее, основную массу таких машин составляют зерноочистительные агрегаты, основным рабочим органом которых являются плоские решета. Привод и способ крепления решетных станов на раме машины, также разнообразны по исполнению. Но не смотря на широкий ассортимент исполнения конструкций решетных зерноочистительных машин их слабые стороны, касаемые возникновения значительных знакопеременных вибрационных нагрузок в процессе работы сохраняются во всех случаях. Вибрация в первую очередь возникает от привода таких машин, так как процесс сепарации на решетных станах предусматривает их возвратно-поступательное перемещение [11]. Для этого в приводе предусмотрен эксцентриковый механизм. Вибрационные процессы в решетном стане достаточно трудно контролировать, так как масса решетного стана имеет не постоянные значения из-за сепарируемой массы. Механизм очистки плоских решет, так же усложняет процесс контроля вибрационных процессов. В большинстве сепарирующих решетных машинах используются в основном два способа очистки- это механическая очистка щетками и шариковая очистка. Оба эти способа очистки также влияют на общую вибрацию машины. Так для привода щеток устанавливается дополнительный приводный механизм, а при работе шариков возникают инерционные нагрузки хаотичного характера[2, 3, 5, 7, 10].

Снизить вибрационную нагрузку на раму машины при сохранении штатных показателей сепарируемости позволит применение конструкции гофрированного пневмоцилиндра для установки на него решетного стана [4]. Такое техническое решение позволит при минимальных конструктивных изменениях в зерноочистительной машине снизить вибрацию. Гофрированный пневмоцилиндр (рисунок 1) за счет упругих свойств позволит нивелировать вибрацию от привода решетного стана и гасить знакопеременную нагрузку, передающуюся на раму машины.

Конструкция решетного стана, установленного на гофрированном пневмоцилиндре, обеспечит равномерную работу машины с требуемыми показателями качества получаемого материала.

Рисунок 1 – Гофрированный пневмоцилиндр

Материалы и методы. Эффективность работы предлагаемой конструкции была проверена опытным путем в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. В ходе исследований использовалась лабораторная установка моделирующая работу фракционной зерноочистительной машины ОЗФ-80. Подача зернового вороха из бункера на сито с размером отверстий решет в 2,8 мм составляла 15 т/ч. Частота колебаний решетного стана варьировалась от 300 до 450 мин$^{-1}$, с интервалом 25 мин$^{-1}$, амплитуда колебаний составляла 16 и 28 мм. При проведении опытов определяли массу зерна сошедшего с решета, массу зерна, прошедшего через решето и выразили через коэффициент сепарации μ.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Влияние способа крепления решетного стана на эффективность сепарирования

Частота колебаний, мин$^{-1}$	Амплитуда, мм	Коэффициент сепарации при стандартном креплении решетного стана (вертикальном расположении подвесок)	Коэффициент сепарации при установке решетного стана на гофрированный пневмоцилиндр
n,	A	μ, м$^{-1}$	
300	28	0,162	0,171
	16	0,149	0,154
325	28	0,166	0,179
	16	0,152	0,161
350	28	0,174	0,188
	16	0,168	0,175
375	28	0,181	0,206
	16	0,173	0,187
400	28	0,187	0,214
	16	0,175	0,198
425	28	0,192	0,219
	16	0,177	0,204
450	28	0,202	0,231
	16	0,179	0,211

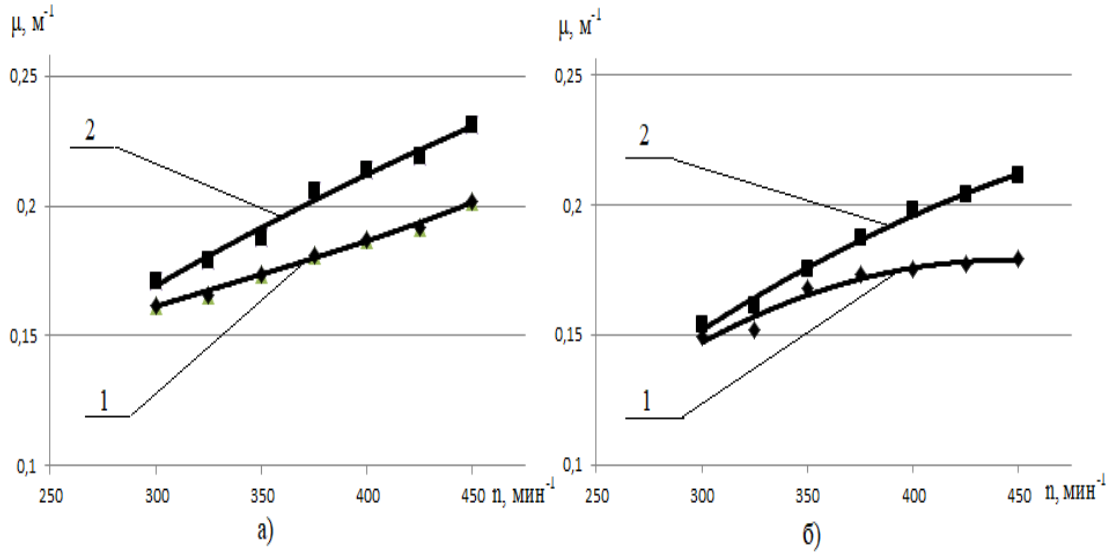


Рисунок 2 – Влияние частоты привода решетного стана на коэффициент сепарации
а) – амплитуда колебаний 28мм; б) – амплитуда колебаний 16мм;
1- серийное крепление решетного стана; 2 – предлагаемая конструкция

Оценивая результаты проведенных исследований видно, что предлагаемая конструкция крепления решетного стана к раме зерноочистительной машины дает лучшие показатели сепарирования зерновой смеси. С увеличением частоты колебаний эксцентрикового механизма с 300 мин$^{-1}$ до 450 мин$^{-1}$ эффективность использования гофрированного пневмоцилиндра увеличивается от 3,3% до 17,8 % при амплитуде 16 мм и от 5,5 % до 14,3% при амплитуде 28 мм, в сравнении со стандартным подвешиванием решетного стана на плоских упругих подвесках. Объяснить такое различие по коэффициенту сепарации можно снижением уровня вредной вибрации за счет гашения колебаний гофрированным пневмоцилиндром. Это подтверждается ранее проведенными исследованиями по оценке уровня вибрации при аналогичных условиях, которые показали, что предлагаемая конструкция позволяет снизить уровень вибрации на 2,5…44,3% в зависимости от режимных параметров.

Заключение. Внедрение в конструкцию воздушно решётной зерноочистительной машины серии ОЗФ предложенного технического решения для крепления решетного стана на гофрированном пневмоцилиндре (патент №189555) [4] позволит повысить эффективность процесса сепарации на различных режимах ее работы, за счет снижения уровня вибрации машины и в целом зерноочистительного агрегата.

Список литературы

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

References

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

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

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

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

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

6. Haritonov M.K., Marychev V.V., CHernyshov A.V. Sposoby povysheniya effektivnosti raboty reshetnyh stanov zernoochistitel'nyh mashin // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya

APK: materialy mezhdunar. nauch. -prakt. konf. (Voronezh, 15-17 noyabrya 2016 g.). – Voronezh, 2016. – S. 96-99.

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

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

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

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

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

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Аксенов Игорь Игоревич – старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru.

Оробинский Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Корнев Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Aksenov Igor – Senior Lecturer of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru.

Orobinsky Vladimir – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Kornev Andrey – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processes of Processing Industries, Agricultural Mechanization and Life Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 06.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021

УДК 621.43
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-24-34

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Ломовских Александр Егорович
[2]Сазонов Сергей Николаевич
[1]Новичихин Виталий Васильевич
[1]Калинин Никита Сергеевич
[1]Машин Владимир Алексеевич
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[2]Администрация Тамбовской области

Реферат: *Внедрение высокоэффективных силовых агрегатов для автотракторной техники является актуальной задачей, решение которой позволит в целом повысить экономические и экологические характеристики данной техники. В статье представлены перспективные силовые установки для автотракторной техники. По мнению авторов, наиболее перспективен силовой агрегат для автотракторной техники, разработанный под руководством профессора Воробьева Ю.В. Многоцелевой роторно-поршневой двигатель (РПД) с круговым параллельным движением ротора-поршня совмещает особенности традиционного поршневого ДВС и альтернативного РПД. Опытный образец роторно-поршневого двигателя подтвердил работоспособность представленной конструкции. В ходе его эксплуатации установлено что достигнута заданная степень сжатия (8,5) при 3400 об/мин. Расход топлива на холостом ходу аналогичен этому параметру у мотора ВАЗ 2106 с таким же карбюратором и аналогичным рабочим объемом. Выявлены преимущества двигателя, по сравнению с аналогами: возможность изменения степени сжатия; возможность использования метало-керамических материалов, для существенного снижения расхода топлива и токсичности отработавших газов за счет дискретного изменения его рабочего объема и, соответственно, повышения КПД такого ДВС; повышенная герметичность рабочих камер за счет внедрения перспективной конструкции разделительной пластины лопасти. Предложены перспективные технологии к использованию в поршневых ДВС, позволяющие снизить удельный расход топлива ДВС до 15%; уменьшить удельный вес до 30%; увеличить ресурс в 2 раза; снизить вредные выбросы от выхлопных газов двигателей до 40%. Показаны направления для дальнейшего развития двигателей.*

Ключевые слова: *двигатели внутреннего сгорания, перспективная силовая установка, эксплуатационные показатели двигателя, автотракторная техника, экономические и экологические характеристики двигателей.*

PROMISING ENGINES FOR AUTOMOTIVE EQUIPMENT

[1]Lomovskih Alexandr
[2]Sazonov Sergey
[1]Novichikhin Vitaly
[1]Kalinin Nikita
[1]Mashin Vladimir
[1]Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin»,
[2]Administration of the Tambov region

Abstract: *The introduction of highly efficient power units for automotive vehicles is an urgent task, the solution of which will generally improve the economic and environmental characteristics of this equipment. Perspective power plants for automotive vehicles are presented in the article. According to the authors, the most promising power unit for automotive vehicles, developed under the guidance of Professor Yu.V. Vorobyov. The multipurpose rotary piston engine (RPE) with circular parallel movement of the rotor-piston combines the features of a traditional piston internal combustion engine and an alternative RPE.*

The prototype of the rotary piston engine confirmed the performance of the presented design. During its operation, it was found that the specified compression ratio (8.5) at 3400 rpm was achieved. Fuel consumption at idle speed is similar to this parameter for a VAZ 2106 engine with the same carburetor and a similar displacement. The advantages of the engine in comparison with analogues are revealed: the possibility of changing the compression ratio; the possibility of using metal-ceramic materials to significantly reduce fuel consumption and toxicity of exhaust gases due to discrete changes in its working volume and, accordingly, increase the efficiency of such an internal combustion engine; increased tightness of the working chambers due to the introduction of a promising design of the blade separation plate. Prospective technologies have been proposed for use in piston internal combustion engines, which make it possible to reduce the specific fuel consumption of internal combustion engines by up to 15%; reduce the specific gravity up to 30%; increase the resource by 2 times; reduce harmful emissions from engine exhaust gases up to 40%. Directions for further development of engines are shown.

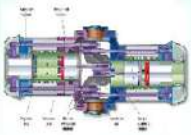
Keywords: *internal combustion engines, advanced power plant, engine performance indicators, automotive equipment, economic and environmental characteristics of engines.*

Введение. В настоящее время привод автотракторной техники и специального оборудования (АТТ) осуществляется от силового агрегата, в качестве которого используются бензиновые и дизельные поршневые двигателей внутреннего сгорания (ДВС), эксплуатация которых в значительной степени определяет в целом эксплуатационные характеристики АТТ. Поэтому разработка и внедрение высокоэффективных двигателей для ТС является актуальной научной задачей, решение которой позволит в целом повысить экономические и экологические характеристики АТТ. Решение данной задачи должно выполняться с учетом концептуальных положений, заложенных в стратегии развития автопрома РФ на период до 2025 года, где в качестве приоритетных направлений инновационного развития выбраны [1]:

- улучшение энергоэффективности и повышение экологических показателей ДВС;
- технологии экологической безопасности (альтернативные виды топлива и др.).

Материалы и методы. На сегодняшний момент в результате локализации сборочных производств иностранных автопроизводителей привело к сокращению производственных мощностей отечественных автомобильных заводов.

Таблица 1 – Мировые тенденции развития перспективных ДВС

Дизельные ДВС			4-х тактный Кармело Скудери	 2-х тактный ОРОС	оппозитный
Роторно-поршневые ДВС	4 -х тактный	2-х секционный	2-х секционный	3-х секционный	4-х тактный Radmax
Бензиновые ДВС		Торроидальный Round Engine	INFINITI QX50	4-х тактный Duke Engines	DTS 11 01
	до 50 л.с. до 40 кВт	**50-100 л.с.** 40...75 кВт	**100-200 л.с.** 75...150 кВт	**200-300 л.с.** 150...220 кВт	**свыше 300 л.с.** свыше 220 кВт

В результате этого сложилось и неблагополучное состояние для двигателестроительных предприятий нашей страны, к которому можно отнести:

- банкротство и перепрофилирование двигателестроительных предприятий, а также ведущих организаций отраслевой науки;
- отсутствие развития отечественных специализированных производств;
- потеря квалифицированных кадров научного персонала, конструкторов и т.д.;
- неуклонно снижающийся уровень подготовки квалифицированных кадров для двигателестроения.

Мировые и отечественные тенденции развития перспективных ДВС, представлены в таблице 1, по направлениям – дизельные, роторно-поршневые и бензиновые двигатели, в зависимости от их мощностных характеристик от 40 кВт и свыше 220 кВт [2, 3].

Следует отметить, что в таблице 1 представлены двигатели, опытные образцы которых, на сегодняшний момент, прошли испытания.

Первый образец. Двухтактный дизельный двигатель OPOC (Opposed Piston Opposed Cylinder) производство США (рисунок 1), представляет собой два поршня в одном цилиндре, движущиеся навстречу друг другу. Такая схема двигателя позволяет применить только один коленчатый вал, что делает такой ДВС более компактный и легкий по сравнению с конкурентами.

Рисунок 1 – Внешний вид ДВС «OPOC»

Этот двигатель изначально предназначен для армии США. Его опытный образец развивает мощность в 325 л.с. при массе в 143 кг. В итоге по массе он на 30...50% легче подобных по мощности дизельных двигателей, в добавок он еще и в 2...4 раза компактнее.

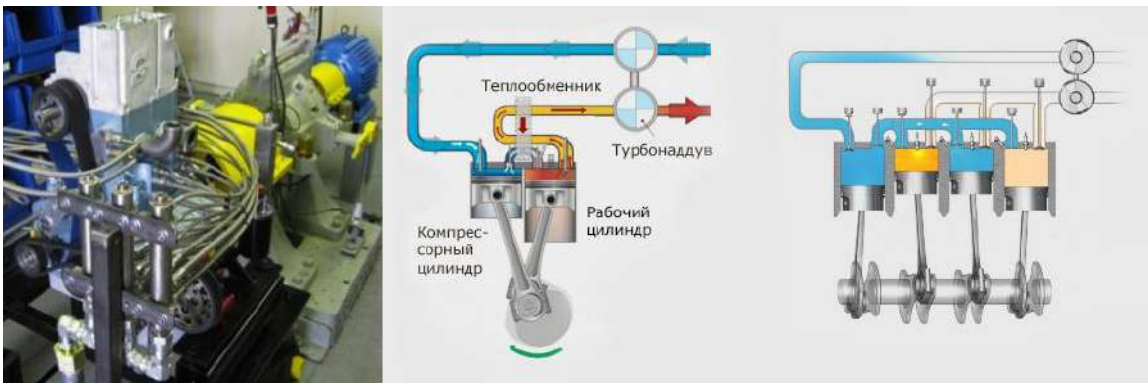


Рисунок 2 – Внешний вид двигателя «Кармело-Скудери»

Второй образец. Двигатель американской компании Scuderi Group – двигатель Кармело-Скудери, внешний вид такого двигателя представлен на рисунке 2.

В разработанном в США ДВС под названием «Кармело-Скудери» имеются классические четыре такта (впуск-сжатие-рабочий ход-выпуск) распределены между двумя цилиндрами. При этом как видно из рисунка 2 впуск и сжатие происходят в одном цилиндре, а рабочий ход и выпуск в другом компрессорном цилиндре.

За один оборот коленвала в таком двигателе происходят все 4 такта, следовательно, в 2 раза быстрее, чем в обычном двигателе.

Как заявляет производитель, двигатель Скудери на 25% экономичнее обычного, а мощность составляет 135 л.с. (100 кВт) с литра рабочего объема.

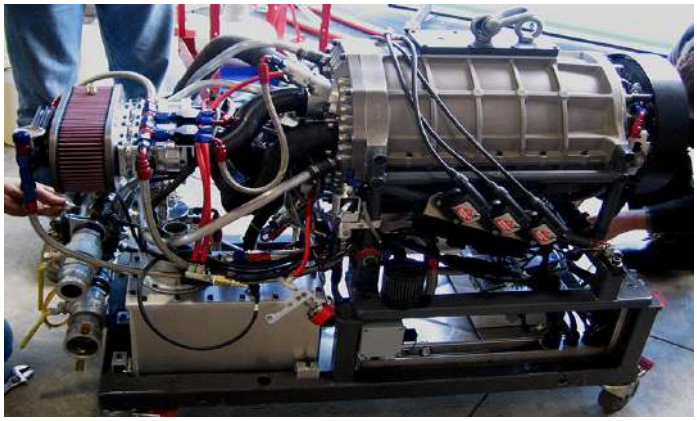
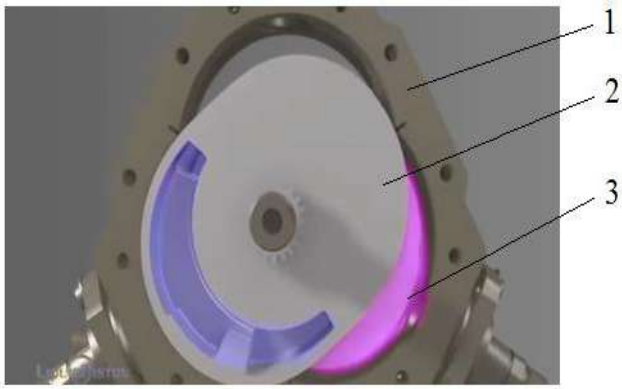


Рисунок 3 – Внешний вид двигателя Duke Engines

Третий образец. Четырехтактный двигатель Duke Engines производство Новая Зеландия является разновидностью аксиальных агрегатов – пятицилиндровый четырёхтактник рабочим объёмом 3 литра. Внешний вид данного агрегата представлен на рисунке 3.

По сравнению с классическим ДВС того же литража он на 19% легче и на 36% компактнее. Опытный образец данного двигателя был продемонстрирован в 2018 году на автосалоне в г. Женеве и вызвал интерес у автопроизводителей.



1 – статор; 2 – ротор; 3 – камера сгорания

Рисунок 4 – Принципиальная схема роторного двигателя Liquidpiston

Рисунок 5 – Внешний вид роторно-поршневого двигателя

Четвертый образец. Роторный двигатель Liquidpiston – производство США. Идея роторных агрегатов различного типа все еще привлекает инженеров. Инженер в США, разработал мотор, напоминающий двигатель Ванкеля. Принципиальная схема такого роторного двигателя Liquidpiston представлена на рисунке 4.

В роторе имеется специальная камера, в которой происходит процесс сгорания. Разработанный опытный образец такого двигателя выполнен рабочим объёмом 23 см³ и при таких характеристиках и малых габаритах имеет высокий КПД. Авторы нацелены на создание дизельного образца такого двигателя весом не более 13 кг и мощностью около 40 л. с. с целью его установки на гибридное транспортное средство. При этом его КПД, как заверяют конструкторы, должен подняться до 45%.

Пятый образец. На рисунке 5 представлен перспективный роторно-поршневой двигатель опытный образец, которого создан в центральном институте авиационного моторостроения (г. Москва). Основные преимущества такого двигателя представлены в таблице 2. Следует отметить, что при весе всего в 70 кг данный двигатель развивает 100 лошадиных сил (75 кВт).

Таблица 2 – Основные характеристики роторно-поршневого двигателя

Мощность, л.с.	100	200	300
Удельный расход г/л.с.ч.	215	210	210
Вес, кг	70	100	135
Ресурс, ч	не менее 1500 ч		

В перспективе разработчики планируют создать 2-х и 3-х секционный роторно-поршневой двигатель в самолетном и вертолетном исполнении с мощностью в 200 и 300 л. с. соответственно. Конструкция двигателя позволяет обеспечить его ресурс в 1500 мото-часов.

Шестой образец. Дизельный поршневой ДВС.

На рисунке 6 представлен внешний вид перспективного дизельного поршневого ДВС, разработанного в этом же институте в г. Москва. Основные данные, имеющиеся по такому двигателю приведены в таблице 3.

Данный двигатель 4-х тактный с оппозитным расположением шести цилиндров. Такое расположение цилиндров позволяет снизить габаритную высоту двигателя и с 3,3 литров получить отдачу в 300 лошадиных сил (220 кВт) при низком расходе топлива по сравнению с аналогами.

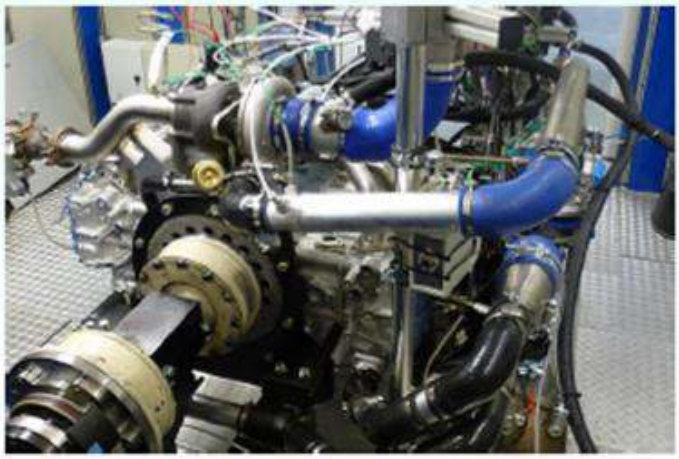


Рисунок 6 – Внешний вид дизельного поршневого ДВС

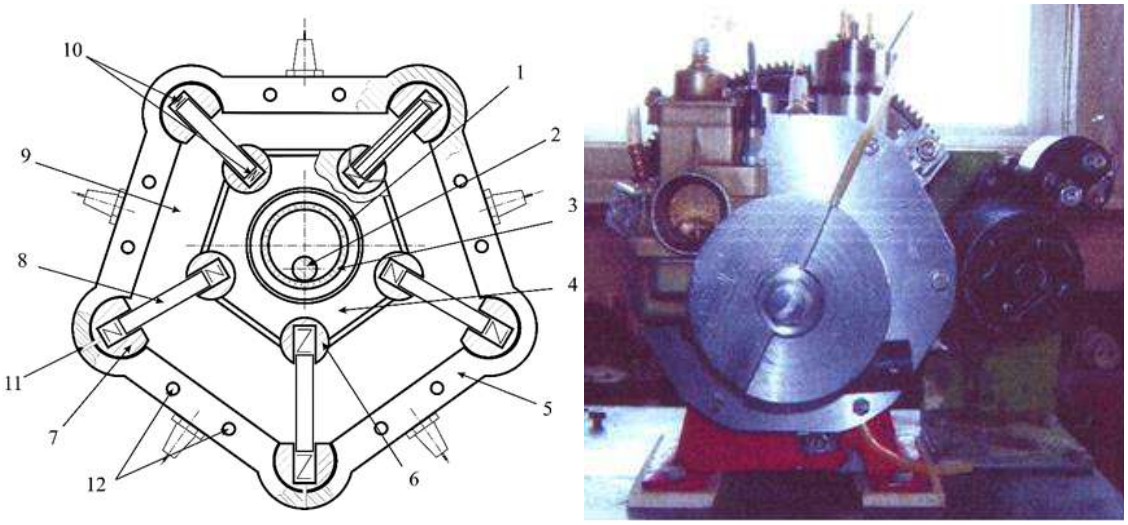
Таблица 3 – Основные характеристики дизельного поршневого ДВС

Тип	Поршневой, четырехтактный, дизельный жидкостного охлаждения
Число цилиндров	6
Расположение цилиндров	Оппозитное
Рабочий объем, см^3	3300
Степень сжатия	17
Мощность (4000 об/мин), л. с.	300
Удельный расход, г/ л. с. ч	160
Удельный вес, кг/л. с.	0,75

Результаты и их обсуждение. На взгляд авторов самая перспективная силовой агрегат для автотракторной техники разработан под руководством профессора Воробьева Ю.В. на кафедре «ТММ и ДМ» Тамбовского государственного технического университета. Созданный многоцелевой роторно-поршневой двигатель (РПД) с круговым параллельным движением ротора-поршня, названный «орбитальным» двигателем внутреннего сгорания. В его конструкции совмещены особенности традиционного поршневого ДВС и альтернативного РПД. Такой подход позволяет объединить основные достоинства этих двигателей и устранить присущие им недостатки [4]. Перспективная схема двигателя Воробьева Ю.В. представлена на рисунке 7 а.

На схеме представлены лопасти 8, которые разделяют рабочий объем на изолированные камеры. Данные лопасти шарнирно связаны с ротором-поршнем и совершают сложное движение вокруг статора, перемещаясь в его пазах. Такая конструкция двигателя позволяет сделать уплотнения более надежными и простыми [5].

Рабочий процесс протекает в размещенных по кругу изолированных камерах. Он ничем не отличается от аналогичного процесса в поршневых двигателях внутреннего сгорания. Однако отпадает необходимость в ЦПГ. Отсутствуют верхняя и нижняя мертвые точки в крайних положениях поршня, потому что ротор-поршень располагается на эксцентриковом валу и совершает круговое параллельное движение [6].



а) б)

1 – приводной вал (вал отбора мощности); 2 – эксцентрик приводного вала; 3 – подшипник; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – шарнир ротора – поршня; 7 – шарнир; статора; 8 – лопасть; 9 – рабочие камеры; 10 – элементы, фиксирующие положение лопасти; 11 – канал для подачи смазки; 12 – отверстие в статоре для крепления боковых крышек

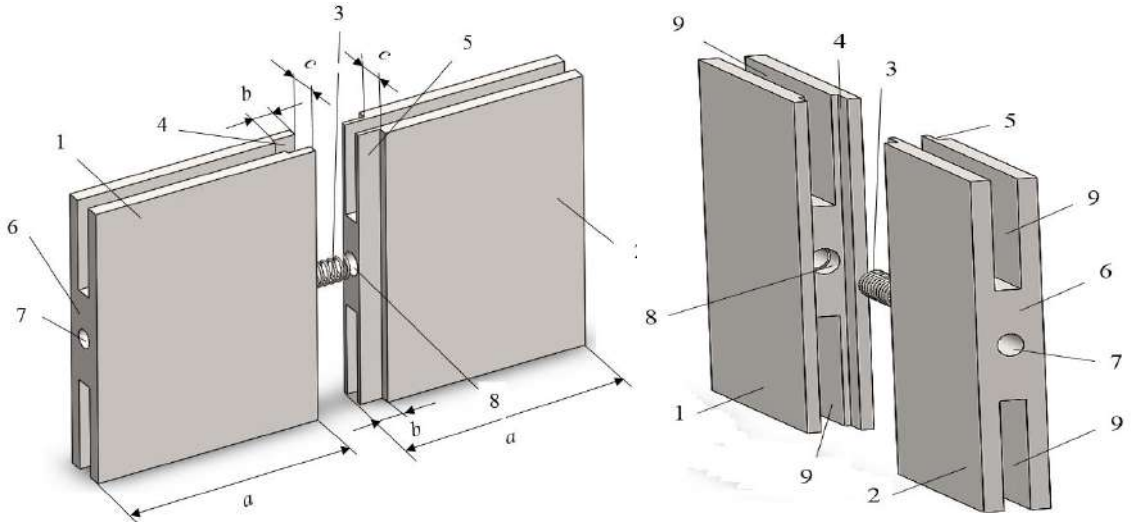
Рисунок 7 – Схема и внешний вид двигателя Воробьева Ю.В.

На рисунке 1 б представлен внешний вид созданного в металле трехсекционного двигателя Воробьева Ю.В. с бесклапанной системой газораспределения. Данное решение позволяет упростить уплотнение лопастей в роторе и сделать его более надежным. Двигатель Воробьева Ю.В. конструктивно имеет одно существенное отличие от ДВС Сейрича. В нем идет круговое параллельное движение ротора-поршня, которое реализуется посредством оригинального зубчатого механизма. В таком конструктивном исполнении достигаются наименьшие размеры двигателя в целом.

В связи с этим разработанный двигатель Воробьева Ю.В. имеет следующие преимущества по сравнению с аналогами:

- возможность изменения степени сжатия в таком двигателе;
- возможность использования метало-керамических материалов, что позволит получить существенного снижения расхода топлива и токсичности отработавших газов за счет дискретного изменения его рабочего объема и соответственно повышения КПД такого ДВС.

В предлагаемой конструкции РПД Воробьева Ю.В. повышена герметичность рабочих камер за счет внедрения перспективной конструкции разделительной пластины лопасти, внешний вид которой представлен на рисунке 8 [7].



а) б)

а) вид разделительной пластины сбоку; б) вид разделительной пластины спереди
1, 2 – части разделительной пластины; 3 – упругий элемент; 4 – паз; 5 – шип; 6 – внешняя торцевая поверхность, перпендикулярная оси двигателя, частей разделительной пластины; 7 – отверстие; 8 – посадочное место под упругий элемент; 9 – паз на торцевой поверхности, параллельной оси двигателя, частей разделительной пластины

Рисунок 8 – Внешний вид разработанной разделительной пластины лопасти

Как видно на рисунке 8 разделительная пластина выполнена составной, состоящей из двух частей, соединенных между собой торцевыми поверхностями, перпендикулярными оси двигателя, с возможностью перемещения относительно друг друга на заданную величину равную:

$$b = a - A/2,$$

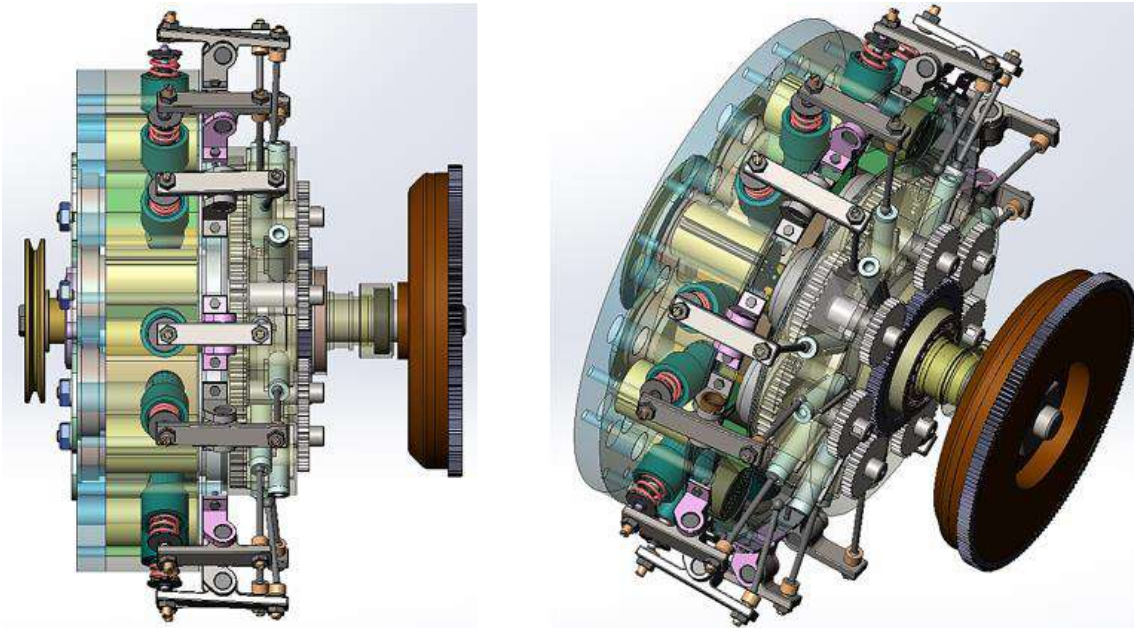
где b – заданная величина перемещения двух частей разделительной пластины относительно друг друга; a – длина составной части пластины; A – ширина корпусного элемента двигателя.

При работе РПД обе части пластины перемещаются относительно друг друга вдоль оси двигателя на величину возникающих зазоров и за счет этого обеспечивается постоянное

прилегание внешних торцевых поверхностей, перпендикулярных оси двигателя. Такое техническое решение позволяет уменьшить утечку газов из рабочих камер РПД, что приведет к возрастанию мощностных и экономических показателей такого двигателя на 10…15% [6].

Созданный профессором Воробьевым Ю.В. опытный образец роторно-поршневого двигателя (рис.8) подтвердил работоспособность представленной конструкции. В ходе его эксплуатации установлено что достигнута заданная степень сжатия (8,5) при 3400 об/мин. Расход топлива на холостом ходу аналогичен этому параметру у мотора ВАЗ 2106, который имеет аналогичный рабочий объем и такой же карбюратор. При этом были отмечены и конструктивные недочеты в системах смазки и охлаждения.

В настоящее время в ВУНЦ ВВС «ВВА» коллективом авторов создана 3-D модель такого двигателя, представленная на рисунке 9, и продолжается работа, начатая профессором Воробьевым Ю.В., по созданию рабочего образца такого двигателя.



а) роторный двигатель в сборе: главный вид б) роторный двигатель в сборе: вид изометрия

Рисунок 9 – 3-D модель роторного двигателя в сборе

Таким образом, на ближайшую перспективу силовые агрегаты с поршневыми ДВС для АТТ останутся, как основной вид первичных источников энергии, пока запасы нефти позволяют нам эксплуатировать их ближайшие 50 лет.

В связи с этим важным направлением исследований в этой области, наряду с разработкой принципиально новых образцов двигателей в качестве силового агрегата для АТТ, является совершенствование эксплуатируемых двигателей.

В качестве перспектив развития образцов ДВС целесообразно рассмотреть два направления.

1) Увеличения полного КПД ДВС за счет еще не использованных его резервов. В частности, переход от 4-х тактного цикла к 2-х тактному.

2) Устранение внутрицилиндровых противоречий.

Также необходимо рассмотреть перспективные технологии, которые целесообразно использовать в поршневых ДВС, представленные в таблице 4 [8].

Применение указанных решений позволит: снизить удельный расход топлива ДВС до 15%; уменьшить удельный вес до 30%; увеличить ресурс в 2 раза; снизить вредные выбросы от выхлопных газов двигателей до 40% [9, 10].

Таблица 4 – Перспективные технологии, планируемые к использованию в поршневых ДВС

Предлагаемые технологии	Ожидаемый эффект
1. Исследование различных схемных решений для двигателей внутреннего сгорания	Снижение массово-габаритных характеристик при высоких удельных показателях
2. Использование гибридных и турбокомпаундных схем	Снижение удельного расхода и повышение мощности силовой установки
3. Применение новейших технологий изготовления (литье в песчано-полимерные формы, жидкая и изотермическая штамповка)	Снижение массовых характеристик и уменьшение сроков создания двигателя при увеличении ресурса
4. Широкое внедрение композитных и неметаллических материалов (интерметаллиды, керамика, углепластики)	Снижение потерь на трение. Снижение весовых характеристик при увеличении ресурса
5. Применение альтернативных видов топлив	Снижение стоимости эксплуатации и улучшение экологических характеристик

В связи с чем для успешного развития поршневых ДВС в Российской Федерации необходима дальнейшая поддержка со стороны Государства, необходимо возродить научные школы двигателестроения и увеличить потребление поршневых двигателей на внутреннем рынке [11].

Из всего перечисленного можно сделать вывод, что современный двигатель для АТТ с целью эффективного своего функционирования должен быть:

- многотопливным;
- с изменяемой степенью сжатия;
- с рециркуляцией отработавших газов;
- с наддувом и промежуточным охлаждением нагнетаемого воздуха;
- с турбокомпаундной системой;
- с низкими массово-габаритными характеристиками при высоких удельных показателях;
- с применением биосистем и искусственного интеллекта для управления рабочими циклами двигателя, с целью его адаптации к меняющимся условиям эксплуатации.

Для реализации такого двигателя концепция развития поршневых ДВС в качестве силового агрегата для АТТ в агропромышленном комплексе должна включать следующие этапы:

- проведение комплексных НИР с целью создания научно-технических заданий;
- создание головного научно-инженерного центра и определение первоочередных инновационных проектов;
- разработка нормативно-технической документации для создания и эксплуатации перспективных поршневых двигателей;
- структуризация производителей двигателей, комплектующих для них и обрабатывающих предприятий;
- организация государственной поддержки для значимых проектов;
- выполнение комплексных ОКР, включающих создание базового модельного ряда поршневых двигателей и т.д.

Заключение. Также необходим поиск новых подходов к проблеме совершенствования эксплуатируемых двигателей, особенно Российского производства, которые морально и физически устарели. Для достижения высоких показателей таких двигателей необходимо развиваться по следующим направлениям.

1) Повышение эффективности рабочего цикла двигателя:

- применение системы воздухоснабжения с изменяемой геометрией;
- применение управляемых фаз газораспределения и т.д.;
- модернизация системы топливоподачи;
- применение альтернативных видов топлив для эксплуатируемых ДВС АТТ с целью повышения их экономических и экологических характеристик;
- форсирование ДВС за счет наддува и промежуточного охлаждения воздуха.

2) Совершенствование системы выпуска с целью нейтрализации отработавших газов:

- применение каталитических нейтрализаторов и сажевых фильтров;
- применение системы рециркуляции выхлопных газов EGR;
- применение перспективных турбокомпаундных установок.

3) Совершенствование механической части ДВС:
- повышением качества изготовления деталей разрабатываемых перспективных двигателей;
- использование новых композитных материалов и металлокерамики.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ № 831-р от 28 апреля 2018 г. «Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности РФ на период до 2025 года».

2. Устинович С.В. Сравнение поршневого и роторных двигателей внутреннего сгорания // Роторный двигатель (ротор-мотор): – Режим доступа: URL: http://roto-motor.com (дата обращения: 15.10.2020).

3. Альтернативные двигатели внутреннего сгорания: монография / А.Е. Ломовских, Ю.В. Воробьев, В.П. Иванов, Ю.В. Гусев. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – 216 с.

4. Ломовских А.Е., Шаповалов А.А. Многоцелевой, перспективный ДВС орбитального типа для беспилотных летательных аппаратов // Сборник статей по материалам докладов XXIII Всероссийская НТК (26 июня 2014 г.) Серпухов Московской обл.: филиал ВА РВСН. – Серпухов, 2014. – Ч. 7. – С. 73–77.

5. Исследование и разработка предложений по совершенствованию конструкции двигателей внутреннего сгорания роторного типа для привода силовых агрегатов перспективного блочно-модульного комплекса средств наземного обслуживания общего применения: отчёт о НИР (заключительный): шифр «Ротор-2» / А.Е. Ломовских и др. – Москва: в/ч 73811, 2017. – 186 с.

6. Патент №2285126 Российской Федерации МПК F01C 1/39, F02B 55/02. Орбитальный двигатель внутреннего сгорания: №2004130817/06, опубл. 10.10.2006. / Воробьев Ю.В., Тетерюков В.Б. – 26 с.

7. Патент на полезную модель №199656 Российской Федерации МПК F01C 1/38, F01C 1/38, F01C 19/00. Разделительная пластина лопасти роторного двигателя внутреннего сгорания: №2020114153, опубл. 11.09.2020. / Ломовских А.Е., Илларионов В.В. – 7 с.

8. Грузовик: журнал: – 2020. – №6. – 84 с.

9. Разработка устройств для модернизации системы питания дизельных двигателей внутреннего сгорания с целью улучшения эксплуатационных свойств моторного топлива, применяемого на средствах наземного обслуживания общего применения: отчёт о НИР (заключительный): шифр «Сиспит» / А.Е. Ломовских и др. – Москва: в/ч 73811, 2015. – 148 с.

10. Исследование влияния антифрикционного материала ВПК-АЗ на ресурс силовых двигателей и агрегатов трансмиссии средств наземного обслуживания воздушных судов авиации, эксплуатирующихся в Арктическом регионе Российской Федерации: отчёт о НИР (заключительный): шифр «Смазка» / А.Е. Ломовских и др. – Москва: в/ч 73811, 2019. – 160 с.

11. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии // Пром. Теплотехника. – 1997. – Т.19., № 4–5. – С. 13–25.

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 831-r ot 28 aprelya 2018 g. «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya avtomobil'noj promyshlennosti RF na period do 2025 goda».

2. Ustinovich S.V. Sravnenie porshnevogo i rotornyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Rotornyj dvigatel' (rotor-motor): – Rezhim dostupa: URL: http://roto-motor.com (data obrashcheniya: 15.10.2020).

3. Al'ternativnye dvigateli vnutrennego sgoraniya: monografiya / A.E. Lomovskih, YU.V. Vorob'ev, V.P. Ivanov, YU.V. Gusev. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2017. – 216 s.

4. Lomovskih A.E., SHapovalov A.A. Mnogocelevoj, perspektivnyj DVS orbital'nogo tipa dlya bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Sbornik statej po materialam dokladov HKHIII Vserossijskaya NTK (26 iyunya 2014 g.) Serpuhov Moskovskoj obl.: filial VA RVSN. – Serpuhov, 2014. – CH. 7. – S. 73–77.

5. Issledovanie i razrabotka predlozhenij po sovershenstvovaniyu konstrukcii dvigatelej vnutrennego sgoraniya rotornogo tipa dlya privoda silovyh agregatov perspektivnogo blochno-modul'nogo kompleksa sredstv nazemnogo obsluzhivaniya obshchego primeneniya: otchyot o NIR (zaklyuchitel'nyj): shifr «Rotor-2» / A.E. Lomovskih i dr. – Moskva: v/ch 73811, 2017. – 186 s.

6. Patent №2285126 Rossijskoj Federacii MPK F01C 1/39, F02B 55/02. Orbital'nyj dvigatel' vnutrennego sgoraniya: №2004130817/06, opubl. 10.10.2006. / Vorob'ev YU.V., Teteryukov V.B. – 26 s.

7. Patent na poleznuyu model' №199656 Rossijskoj Federacii MPK F01C 1/38, F01C 1/38, F01S 19/00. Razdelitel'naya plastina lopasti rotornogo dvigatelya vnutrennego sgoraniya: №2020114153, opubl. 11.09.2020. / Lomovskih A.E., Illarionov V.V. – 7 s.

8. Gruzovik: zhurnal: – 2020. – №6. – 84 s.

9. Razrabotka ustrojstv dlya modernizacii sistemy pitaniya dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya s cel'yu uluchsheniya ekspluatacionnyh svojstv motornogo topliva, primenyaemogo na sredstvah nazemnogo obsluzhivaniya obshchego primeneniya: otchyot o NIR (zaklyuchitel'nyj): shifr «Sispit» / A.E. Lomovskih i dr. – Moskva: v/ch 73811, 2015. – 148 s.

10. Issledovanie vliyaniya antifrikcionnogo materiala VPK-AZ na resurs silovyh dvigatelej i agregatov transmissii sredstv nazemnogo obsluzhivaniya vozdushnyh sudov aviacii, ekspluatiruyushchihsya v Arkticheskom regione Rossijskoj Federacii: otchyot o NIR (zaklyuchitel'nyj): shifr «Smazka» / A.E. Lomovskih i dr. – Moskva: v/ch 73811, 2019. – 160 s.

11. Dolinskij A.A., Ivanickij G.K. Principy razrabotki novyh energosberegayushchih tekhnologij i oborudovaniya na osnove metodov diskretno-impul'snogo vvoda energii // Prom. Teplotekhnika. – 1997. – T.19., № 4–5. – S. 13–25.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, Администрация Тамбовской области, Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru

Новичихин Виталий Васильевич – соискатель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, oskol20@mail.ru.

Калинин Никита Сергеевич – курсант Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Машин Владимир Алексеевич – курсант Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Authors credentials

Affiliations

Lomovskih Alexandr – candidate of technical sciences, associate professor of the department, Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Russia, Voronezh, e -mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Sazonov Sergey – Doctor of technical Sciences, Professor, Administration of the Tambov region, Russia, Tambov.

Novichikhin Vitaly – associate of the academy, Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Russia,Voronezh, e -mail: oskol20@mail.ru.

Kalinin Nikita – cadet of the academy, Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Russia,Voronezh.

Mashin Vladimir – cadet of the academy, Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Russia,Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 08.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.10.2021

УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-35-41

О РАСХОДЕ ТОПЛИВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫМ КОМБАЙНОМ

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

Реферат. *Разработана модель оценки удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном на уборке зерновых культур. В качестве входных данных модель оперирует показателями условий сельхозпредприятия и показателями технической характеристики комбайна. Модель рассматривает расход топлива комбайном в различных периодах эксплуатационного времени работы двигателя. Новизной модели является применение показателя, характеризующего уровень использования производительности комбайна. Данный показатель представляет собой отношение фактической производительности к потенциально-возможной по пропускной способности зерноуборочного комбайна. С помощью модели проведены исследования влияния уровня использования производительности на расход топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218. Получено, что при изменении уровня производительности от 0,5 до 1,1 удельный расход снижается с 6,13 л/т до 3,79 л/т, то есть расход топлива уменьшается в 1,6 раза. Получена оценка влияния на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Наблюдается рост расхода топлива в 1,5 раза при увеличении соломистости зерновых культур с 1,0 до 2,0. С увеличением урожайности с 20 ц/га до 60 ц/га удельный расход топлива уменьшается 4,11 л/т до 3,91 л/т. Это составляет уменьшение расхода на 4.9 % в исследуемом диапазоне урожайности. Как фактор, урожайность влияет на расход топлива незначительно. Результаты исследований объясняют широкий разброс удельного расхода топлива зерноуборочными комбайнами в условиях реальной эксплуатации. Полученная модель позволяет прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в условиях сельхозпредприятия и повышать его топливную экономичность.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн,расход топлива, моделирование, производительность, урожайность.*

ABOUT FUEL CONSUMPTION FOR COMBINE HARVESTERS

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

Abstract. *A model for estimating the specific fuel consumption of a combine harvester for harvesting grain crops has been developed. As input data, the model operates with indicators of the conditions of the agricultural enterprise and indicators of the technical characteristics of the combine. The model considers the fuel consumption of the combine harvester in different periods of the operational time of the engine. The novelty of the model is the use of an indicator that characterizes the level of use of the productivity of the combine. This indicator is the ratio of the actual productivity to the potentially possible throughput capacity of a combine harvester. Using the model, the influence of the level of productivity utilization on fuel consumption by the Polesie KZS-1218 combine harvester was studied. It is found that when the performance level changes from 0.5 to 1.1, the specific consumption decreases from 6.13 l/t to 3.79 l/t, that is, fuel consumption decreases by 1.6 times. An assessment of the influence of uncontrolled factors on fuel consumption was obtained: the yield and strawiness of the harvested grain crop. There is an increase in fuel consumption by 1.5 times with an increase in the straw content of grain crops from 1.0 to 2.0. With an increase in yield from 20 c / ha to 60 c / ha, the specific fuel consumption decreases 4.11 l / t to 3.91 l/t. This is a 4.9% reduction in consumption in the studied yield range. As a factor, productivity affects fuel consumption slightly. The results of the research explain the wide*

variation in the specific fuel consumption of combine harvesters in real operation. The resulting model allows you to predict the fuel consumption of a combine harvester in the conditions of an agricultural enterprise and increase its fuel efficiency.

Keywords: *combine harvester, fuel consumption, modeling, productivity, yield.*

Введение. Анализируя эффективность использования зерноуборочного комбайна, потребитель обязательно рассматривает расход дизельного топлива в его конкретных условиях[1,2]. В качестве показателя часто применяют удельный расход топлива. Под этой величиной понимают количество топлива в литрах, требующееся для уборки одной тонны зерна. Этот показатель зависит от марки используемых комбайнов и конкретных условий их применения в реальной эксплуатации.

Наблюдения за работой зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации показывают существенный разброс данного показателя, который может отличаться в разы даже для одномарочных комбайнов при работе в близких условиях. Как показали итоги уборки зерновых культур по расходу топлива в 2020 году в Тамбовском регионе, для различных комбайнов марки Полесье КЗС-1218 этот показатель находился в диапазоне 3,1 л/т - 7,2 л/т. Сельхозпроизводителю важно знать: почему так происходит и какие факторы наиболее значимо влияют на потребление топлива при работе зерноуборочных комбайнов. В исследованиях [3] предложена модель, которая позволяет прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в различных условиях уборки. В настоящей работе выдвинута гипотеза о существенном влиянии на расход топлива уровня использования производительности зерноуборочного комбайна[4,5]. Данный показатель представляет собой отношение фактической производительности к потенциально-возможной, исходя из паспортной пропускной способности зерноуборочного комбайна. В реальных условиях эксплуатации уровень производительности варьирует от 0,5 до 1,1. Разработать модель и оценить влияние данного показателя на топливную экономичность зерноуборочного комбайна – такова цель предлагаемого исследования.

Материалы и методы. Исследование проводилось математическим моделированием расхода топлива комбайном в зависимости от выбранных входных факторов. Основные фрагменты математической модели представлены ниже.

Расход топлива зерноуборочным комбайном происходит во временные интервалы работы двигателя. К ним относятся следующие элементы эксплуатационного времени, при которых происходят [6]: основная работа комбайна по выполнению технологического процесса скашивания и обмолота зерновых культур; переезды до мест ночных стоянок и с одного поля на другое; технологические развороты в конце гона; переезды комбайна к месту выгрузки зерна и обратно в загонку; разгрузка зерновой массы из бункера комбайна в транспортное средство. Удельный расход топлива при уборке зерновых культур комбайном характеризуется уравнением [3]:

$$g_T = g_1 + g_{21} + g_{22} + g_{23} + g_6 , \quad (1)$$

где g_T - удельный расход топлива зерноуборочным комбайном, л/т; g_1, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_6 - удельный расход топлива соответственно при выполнении основной работы, поворотов в конце гона, переездов комбайна к месту выгрузки зерна; выгрузки зерна из бункера в транспортное средство, холостых переездов, л/т.

Следует отметить, что разработанная в [3] на основе выражения (1) математическая модель справедлива для ситуации, когда комбайн работает с фактической производительностью равной потенциально возможной по пропускной способности. В реальной эксплуатации комбайн показывает фактическую производительность, которая определяется формулой:

$$W_{1Ф} = W_1 \cdot Y_{ПР} , \quad (2)$$

где $W_{1Ф}$ - фактическая производительность комбайна по основному времени, т/ч; W_1 - потенциальная производительность комбайна по основному времени исходя из его паспортной пропускной способности, т/ч; $Y_{ПР}$ - уровень использования производительности зерноуборочного комбайна.

Для определения производительности комбайна по основному времени W_1 используем следующее выражение [7]:

$$W_1 = \frac{3{,}6 \cdot G_П \cdot K_{УСЛ}}{1+\varepsilon}, \text{т/ч} \quad (3)$$

где $G_П$ - паспортная пропускная способность комбайна, кг/с; $K_{УСЛ}$ - коэффициент условий уборки по влажности, засоренности и полеглости; ε - отношение незерновой части скошенной массы к массе зерна.

Для определения паспортной пропускной способности различных марок комбайнов использовали информацию, полученную в результате полевых испытаний комбайна. При отсутствии таких данных пропускная способность моделировалась по уравнениям [7]. В работе [8] подробно изложена процедура определения коэффициента условий уборки $K_{УСЛ}$.

При эксплуатации комбайна уровень использования производительности регулируется рабочей скоростью комбайна и определяется по формуле:

$$Y_{ПР} = \frac{V_{ФР}}{V_P}, \quad (4)$$

где $V_{ФР}$ - фактическая рабочая скорость комбайна, км/ч; V_P - рекомендованная рабочая скорость комбайна по его пропускной способности, км/ч;

Наиболее энергоемкий и продолжительный период, в течение которого расходуется дизельное топливо приходится на основную работу комбайна. Во время основной работы большая часть мощности двигателя комбайна расходуется на скашивание и обмолот зерновой массы, меньшая - на передвижение комбайна по полю, измельчение и разброс соломы. Влияние фактической производительности комбайна на удельный расход топлива при выполнении основной работы авторами предложено описать формулой:

$$g_1 = \frac{q_{M1} \cdot N_Д \cdot K_{M1}}{10^3 \cdot W_{1Ф} \cdot u_T}, \text{ л/т} \quad (5)$$

где q_{M1} - удельный расход топлива двигателем при коэффициенте использования мощности K_{M1}, г/л.с.×ч; K_{M1} - коэффициент использования мощности двигателя при выполнении комбайном основной работы; $N_Д$ - паспортная мощность двигателя, л.с.; u_T - удельный вес топлива (солярки), кг/л.

Коэффициент использования мощности двигателя на основной работе зависит от уровня использования производительности. С уменьшением уровня использования производительности снижается и коэффициент использования мощности, так как снижается мощность на обмолот зерновой культуры. При моделировании предлагается оценивать это снижение уравнением:

$$K_{M1} = 0{,}5 \cdot Y_{ПР} + 0{,}4 \quad (6)$$

Удельный расход топлива двигателем зависит от оборотов двигателя и мощности на его валу. В работе [9]:проведены исследования влияния указанных факторов на удельный расход топлива дизельного двигателя. С учетом этих исследований удельный расход топлива двигателем на основной предлагается определять по формуле:

$$q_{Ф1} = q_H \cdot \left(0{,}8714 \cdot K_{M1}^2 - 1{,}7471 \cdot K_{M1} + 1{,}8757\right), \text{г/л.с.×ч;} \quad (7)$$

где q_H - паспортный удельный расход топлива двигателем при номинальных оборотах и мощности, г/л.с.×ч;

Моделирование удельного расхода топлива двигателем при выполнении поворотов в конце загонки, переезде комбайна к месту выгрузки зерна и обратно, выгрузки зерна из бункера в транспортное средство и на холостых переездов подробно описано в работе [3].

В итоге, разработана модель для более детального исследования расхода дизельного топлива зерноуборочным комбайном в процессе его использования по назначению.

Результаты и обсуждение. С помощью разработанной модели были проведены исследования влияния уровня использования производительности на расход топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218, который массово применяется на полях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР). Комбайн стоит дешевле аналогов и отличается высокими эксплуатационными показателями Полесье КЗС-1218 имеет классическое молотильное устройство барабанного типа. Отличительной особенностью молотилки комбайна является наличие барабана ускорителя и молотильного барабана увеличенного диаметра (800 мм). Пропускная способность комбайна составляет 12 кг/с. Мощный двигатель позволяет уверенно работать при высокой урожайности практически всех зерновых культур. Высокую производительность и качество выполнения технологического процесса в оригинальной системе обмолота обеспечивают барабан-ускоритель и высокая площадью очистки. Для создания комфортных условий работы комбайнера кабина комбайна оснащена высокообзорным панорамным стеклом, кондиционером, эргономичным сиденьем и регулируемой рулевой колонкой. Бортовой компьютер контролирует основные параметры работы двигателя, основных узлов комбайна и технологических регулировок комбайна. В конструкции предусмотрена укладка соломы в валок или измельчение с разбрасыванием по полю.

Для моделирования удельного расхода топлива при уборке зерновых культур напрямую с измельчением и разбрасыванием соломы по полю были взяты технические показатели комбайна Полесье КЗС-1218.Учитывались также средние показатели условий уборки сельхозпредприятия в Центральном Черноземье (таблица).

Таблица – Исходные данные для моделирования по комбайну Полесье КЗС-1218

Двигатель	ЯМЗ-238ДЕ-22
Паспортная пропускная способность комбайна, кг/с	12
Удельный расход топлива двигателем при номинальных оборотах и мощности, г/л.с.×ч	165
Рабочая ширина захвата комбайна, м	6,6
Средняя длина гона, м	1200
Объем зернового бункера комбайна, $м^3$	8
Скорость выгрузки зерна из бункера, л/с	70
Отношение незерновой части к массе зерна	1,3
Влажность соломистой массы / засоренность хлебостоя / полеглость, %	14 / 5/ 4
Удельный вес топлива (солярки), кг/л	0,86
Удельный вес зерна, $т/м^3$	0,75
Среднее время, затрачиваемое комбайном на поворот в конце гона, с	50
Средняя урожайность, т/га / средняя площадь поля у потребителя, га	3,7 / 200
Среднее время, затрачиваемое на переезд комбайна к месту выгрузки зерна и обратно, с	120
Среднее расстояние переезда от места стоянки (ночного хранения) к месту работы / среднее расстояние переезда с поля на поле, км	10 / 5
Среднее основное время работы комбайна в течение суток, ч	8,5
Транспортная скорость комбайна, км/ч	15

В результате компьютерного моделирования получена зависимость удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218 от уровня использования его производительности (рисунок 1).

Как показывает рисунок 1, удельный расход топлива комбайном Полесье КЗС-1218 значимо снижается с повышением уровня использования производительности. В рассматриваемой области изменения уровня производительности (0,5…1,1) удельный расход снижается с 6,13 л/т до 3,79 л/т, то есть расход топлива уменьшается практически в 1,61 раза. Крутизна выявленного снижения уменьшается с ростом уровня производительности. В диапазоне уровня производительности

0,5…0,6 снижение расхода топлива составляет 11,9 %, а в диапазоне 0,9…1,0 уменьшается до 5,3%.

Фактический уровень производительности является управляемым фактором. Он зависит от выбранной механизатором рабочей скорости комбайна и ее соответствия потенциально возможной для данных условий. На практике часть комбайнов работает с пониженной скоростью и, как следствие, с пониженным уровнем производительности. Это является причиной повышенного расхода топлива и объяснением большого разброса удельного расхода топлива комбайнами одной марки в одинаковых условиях использования. Таким образом, контроль и поддержание уровня производительности комбайна около единицы является важным элементом снижения расхода топлива при уборке зерновых культур.

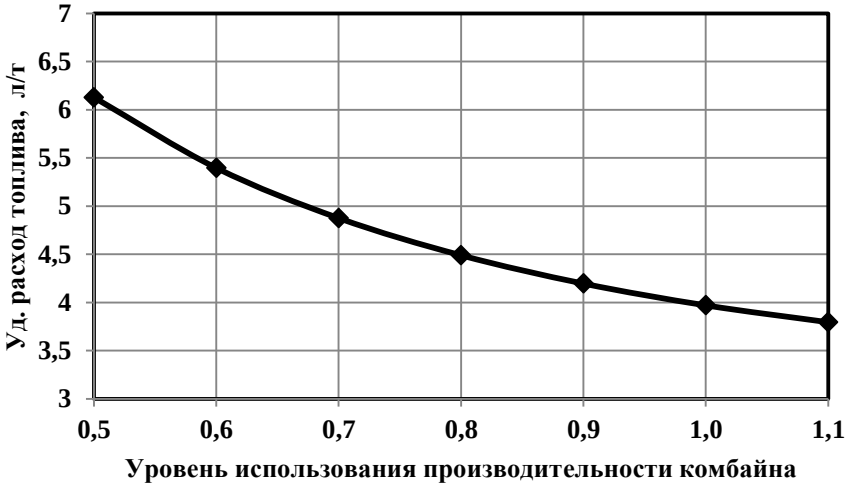


Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от уровня использования его производительности

Рассмотрим влияние на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Эти факторы определяются условиями уборки зерновых культур в сельскохозяйственном предприятии. На рисунке 2 представлена зависимость удельного расхода топлива в зависимости от соломистости убираемых зерновых культур.

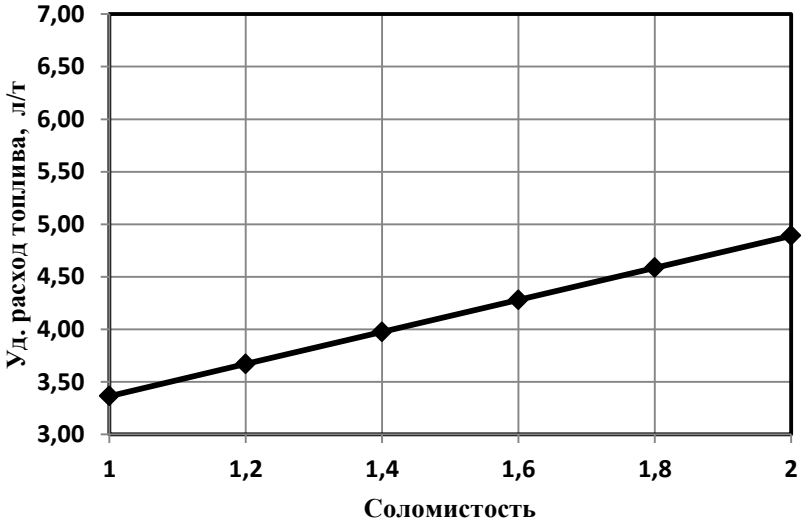


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218от соломистости зерновой культуры

В проведенных исследованиях соломистость измеряется отношением незерновой части скошенной массы к массе зерна. Полученная зависимость показывает крутое линейное увеличение расхода топлива с возрастанием соломистости. Для рассматриваемого комбайна Полесье КЗС-1218 при соломистости равной 1,0 расход топлива составляет 3,36 л/т, а при соломистости 2,0 расход топлива - 4.89 л/т. Таким образом, имеем увеличение расхода топлива почти в 1,5 раза. Рост расхода топлива с возрастанием соломистости имеет физическое объяснение: при намолоте одинаковой массы зерна комбайну при высокой соломистости приходится обмолачивать больше скошенной зерносоломистой массы.

Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от урожайности зерновой культуры показана на рисунке 3. С увеличением урожайности с 20 ц/га до 60 ц/га удельный расход топлива уменьшается от 4,11 л/т до 3,91л/т. Это составляет уменьшение расхода на 4.9 % в исследуемом диапазоне урожайности. Как следует из результатов, приведенных на рисунке 3, расход топлива незначительно зависит от урожайности.

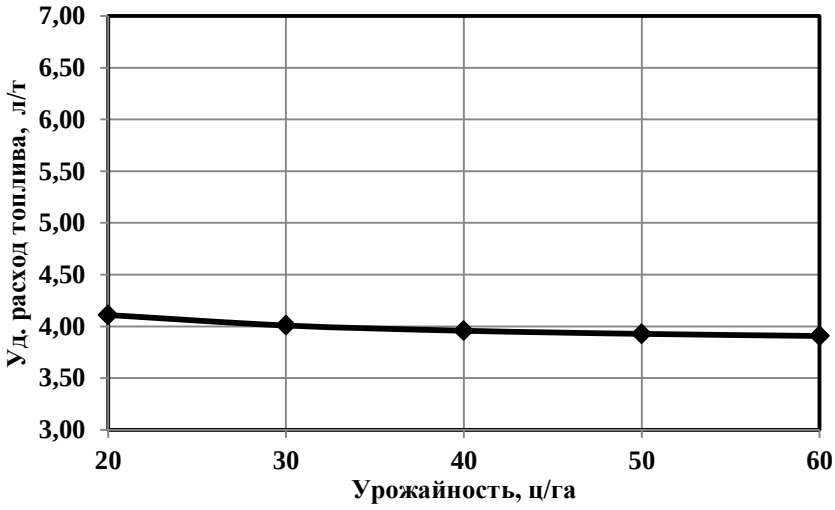


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от урожайности зерновой культуры

Выводы. Получена модель оценки удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном с учетом фактического уровня использования производительности. Модель апробирована на примере комбайна Полесье КЗС-1218. Выявлено, что снижение уровня использования производительности зерноуборочного комбайна ведет к существенному увеличению удельного расхода топлива. Получена оценка влияния на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Результаты исследований позволяют прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в условиях сельхозпредприятия и повышать его топливную экономичность.

Список литературы

1. Жалнин Э.В. Оптимизация машиноиспользования – мощный резерв повышения эффективности сельскохозяйственного производства // Наука в Центральной России. – 2013. – №1. – С.5-17.

2. Эффективная работа зерноуборочных комбайнов в условиях МТС и сельскохозяйственных предприятий / В.И.Драгайцев, Г.Н.Ерохин, В.Н.Кузьмин, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2001. – № 5. – С. 26-29.

3. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Моделирование расхода топлива зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России. –2016. –№ 3 (21). – С. 24-31.

4. Жалнин Э.В. О гармоничности конструкции зерноуборочных комбайнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №1. – С.17-21.

5. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Оценка уровня использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии // Наука в центральной России. – 2015. - №3. – С.5-10.

6. ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: «Стандартинформ», 2008. – 24с.

7. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. – М.: ВИМ, 2011. – 102 с.

8. Ерохин, Г.Н., Коновский В.В., Тишанинов Н.П. Использование зерноуборочных комбайнов за пределами регламентированного срока службы. – М.: РАСХН, 2005. – 63 с.

9. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins/ К.И.Городецкий, В.С.Гольнев, Е.П.Ершов и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №2. – С.44-47.

References

1. ZHalnin E.V. Optimizaciya mashinoispol'zovaniya – moshchnyj rezerv povysheniya effektivnosti sel'skohozyajstvennogo proizvodstva // Nauka v Central'noj Rossii. – 2013. – №1. – S.5-17.

2. Effektivnaya rabota zernouborochnyh kombajnov v usloviyah MTS i sel'skohozyajstvennyh predpriyatij / V.I.Dragajcev, G.N.Erohin, V.N.Kuz'min, I.G. Golubev // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2001. – № 5. – S. 26-29.

3. Erohin G.N., Konovskij V.V. Modelirovanie raskhoda topliva zernouborochnyh kombajnov // Nauka v central'noj Rossii. –2016. –№ 3 (21). – S. 24-31.

4. ZHalnin E.V. O garmonichnosti konstrukcii zernouborochnyh kombajnov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2011. – №1. – S.17-21.

5. Erohin G.N., Konovskij V.V. Ocenka urovnya ispol'zovaniya zernouborochnyh kombajnov v sel'hozpredpriyatii // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. - №3. – S.5-10.

6. GOST R 52778-2007 Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ekspluatacionno-tekhnologicheskoj ocenki. – M.: «Standartinform», 2008. – 24s.

7. ZHalnin E.V. Raschet osnovnyh parametrov zernouborochnyh kombajnov. – M.: VIM, 2011. – 102 s.

8. Erohin, G.N., Konovskij V.V., Tishaninov N.P. Ispol'zovanie zernouborochnyh kombajnov za predelami reglamentirovannogo sroka sluzhby. – M.: RASKHN, 2005. – 63 s.

9. Mnogoparametrovaya toplivnaya harakteristika dizelya Cummins/ K.I.Gorodeckij, V.S.Gol'nev, E.P.Ershov i dr. // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. – №2. – S.44-47.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ерохин Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г.Тамбов, e-mail: witin4@rambler.ru.

Коновский Валерий Викторович – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г.Тамбов, e-mail: witin4@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Erokhin Gennady – Candidate of Technical Sciences, LeadingResearcher of FederalState Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Konovskiy Valery - Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 06.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 18.10.2021

УДК 631.51:632.931.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-42-48

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЩЕЛЕВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРАЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛЯ

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

Реферат. *В статье приведены результаты экспериментальных исследований по транспортированию капель в форме воздушно-дисперсной системы, создаваемой комбинированной подачей факелов распыла жидкости двумя щелевыми соплами тип – LU-04 AD – 04 код цвета красный и двумя щелевыми соплами тип – LU-02 AD – 02 код цвета желтый, в воздушный поток струи, выходящий из конического сопла. Массовый расход воздуха* 4525 г/*с, превышает массовый расход капельной жидкости* в 49,73 раза*, что позволяет транспортировать капли факелов распыливаемой жидкости в воздушном потоке струи с присоединенным в струю воздухом из окружающего пространства без взаимодействия. Для краевой обработки поля получены классовые распределения капель, осажденные из воздушно-дисперсной системы на предметных карточках, закрепленных на планшетах, как на поверхности почвы, так и на возвышениях. Получены данные осаждения различных классовых размеров капель на карточках до расстояния 16 м от технического средства при скорости его движения 7,2 км/ч (2 м/с), близкие по показателям выполнения агротехнических требований в технологии защиты растений. Применяемая норма гербицидов по числу капель/см^2 составляет 40 ≤ N ≤ 100 шт. с диаметрами капель 100 < Д ≤ 360 мкм. Норма при применении инсектицидов и фунгицидов: 50 ≤ N ≤ 200 шт. и 80 < Д ≤ 360 мкм. Суммарный массовый расход рабочей жидкости распылителей при давлении 4 Бар составляет 45,5 г на 1 метр погонный. На обработку 1 км лесополосы потребуется 45,5 литров жидкости.*

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

RATIONAL APPLICATION OF SLIT ATOMIZERS OF LIQUID FOR AEROSOL TECHNOLOGY EDGE TREATMENT OF FIELD

[1]Kireev Ivan
[1]Koval' Zinaida
[2]Danilov Michael
[1]Novokubansk branch FGBNU "Rosinformagrotekh" (KubNIITiM)
[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Stavropol State Agrarian University»

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the transportation of droplets in the form of an air-dispersed system created by the combined supply of slotted atomizers of liquid with two slotted nozzles type - LU-04 AD - 04 color code red and two slotted nozzles type - LU-02 AD - 02 color code yellow, into the air stream of the jet exiting the conical nozzle. The mass flow rate of air is 4525 g / s, exceeds the mass flow rate of the dropping liquid by 49.73 times, which makes it possible to transport droplets of the sprayed liquid in the air stream of the jet with air attached to the jet from the surrounding space without interaction. For edge cultivation of the field, class distributions of droplets were obtained, deposited from an air-dispersed system on object cards fixed on plates, both on the soil surface and on elevations. The data on the deposition of various class sizes of droplets on the cards up to a distance of 16 m from the technical device at a speed of 7.2 km / h (2 m / s), which are close in terms of the fulfillment of agrotechnical requirements in plant protection technology, were obtained. The applied rate of herbicides in terms of the number of drops / cm2 is 40 ≤ N ≤ 100 pcs. with droplet diameters 100

<D ≤ 360 μm. Rate when using insecticides and fungicides: 50 ≤ N ≤ 200 pcs. and 80 <D ≤ 360 μm. The total mass flow rate of the working fluid of the atomizers at a pressure of 4 bar is 45.5 g per 1 running meter. The processing of 1 km of the forest belt will require 45.5 liters of liquid.

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

Постановка проблемы. Защита растениеводческих культур от вредителей, зимующих в лесозащитных полосах, и уничтожение сорной растительности вблизи полезащитных насаждений и в технологических проходах является трудно решаемой задачей. Для выполнения такой задачи в настоящее время отсутствуют универсальные технические средства. Применение вентиляторов опрыскивателей, генераторов аэрозоля и авиационных средств для краевой обработки поля не имеет научно – технологического обоснования по универсальному выполнению агротехнических требований [1].

Цель исследований – распределение капель на поверхности и в воздушном пространстве в направлении условной лесополосы из воздушно-дисперсной системы при движении технического средства с подачей факелов распыливаемой жидкости щелевыми распылителями в воздушную струю.

Материалы и методы исследования. Для выполнения цели исследования применялось техническое средство [2] (рис.1) с комплектом щелевых распылителей при комбинированной их установке по образующей сопла под небольшим углом к скоростному 33 м/с воздуху, выходящему из сопла.

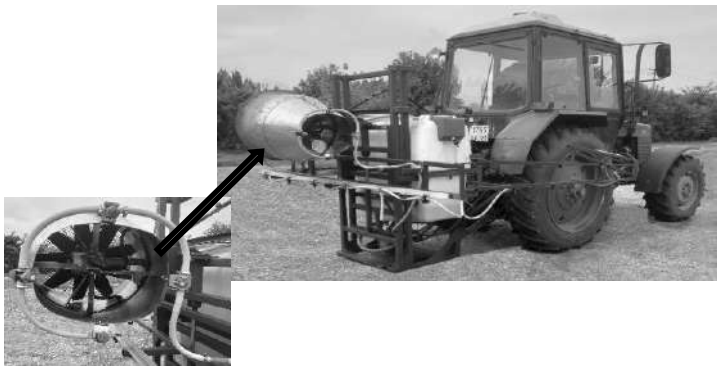


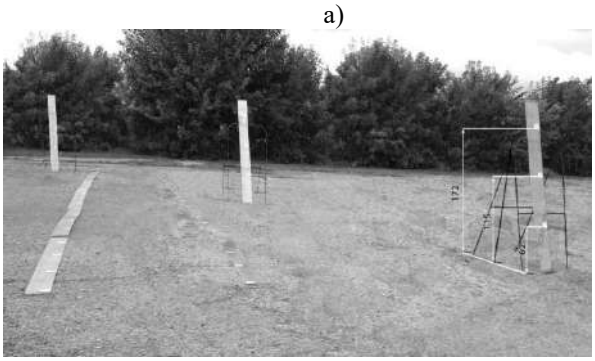
Рисунок – 1 Общий вид технического средства с устройством, оснащенным 2-мя щелевыми соплами (тип – LU-04. AD – 04; код цвета красный) и 2-мя щелевыми соплами (тип – LU-02. AD – 02; код цвета желтый) для краевой обработки поля

В перпендикулярном направлении движению технического средства на расстоянии 5 м от среза сопла на поверхности почвы и треугольных возвышениях устанавливались планшеты, на которых скрепками фиксировались предметные карточки 5×7 см (рис.2) [3]. Расстояние 5 м от сопла устройства с распылителями до начала расположения карточек измерялось рулеткой (Рис.2 вид а). Расположение планшетов с пронумерованными карточками на площадке показано на рисунке 2, видом б).

Для исследований выбраны щелевые распылители с соплами LU-015. AD – 015, LU – 02. AD – 02, LU – 03. AD – 03 и LU – 04. AD – 04, которые при давлении жидкости 3,5 – 4 Бар создают капли среднего размера 127 – 218 мкм [4] и рекомендуются для послевсходовых обработок, а применяемые жидкости включают гербициды, инсектициды и фунгициды. Применяемая норма гербицидов по числу капель/см^2 составляет 40 ≤ N ≤ 100 шт. с диаметрами капель 100 < Д ≤ 360 мкм. Норма при применении инсектицидов и фунгицидов: 50 ≤ N ≤ 200 шт. и 80 < Д ≤ 360 мкм [5]. При установившемся режиме распыливания жидкости осуществлялось движение технического средства с заданной скоростью 7,2 км/ч (2 м/с), контролируемой по показаниям стрелочного

секундомера. Техническое средство при установившемся режиме его функционирования приведено на рисунке 3.

а)



б)

Рисунок – 2 Расположение планшетов с предметными карточками на площадке для получения информационных данных по дисперсности капель, создаваемых режимом технического средства, для технологии краевой обработки поля по уничтожению сорняков и вредителей культурных растений.

Рисунок – 3 Техническое средство при установившемся режиме функционирования

После проведения опытов, пронумерованные карточки с отпечатками капель снимались с планшетов и закреплялись пронумерованные чистые. Карточки с отпечатками капель сканировались и специальной программой определялись классовые размеры капель. Среди проведенных 8 опытов с различным сочетанием установки щелевых распылителей по образующей сопла наиболее рациональным по осаждению капель на карточках было сочетание из двух сопел LU-04. AD – 04 (код цвета красный) и двух сопел LU-02. AD – 02 (код цвета желтый). Суммарный

массовый расход жидкости распылителей в соотношении вода и краска для принтера 9/1 составлял 91г/с. При расходе воздуха, выходящем из сопла 3,74 $м^3$/с (4525 г/с) соотношение массовых расходов воздуха и капельной жидкости равно 49,73 и воздушно-капельная струя распространяется в соответствии с закономерностями воздушной струи [6].

Результаты исследований и обсуждение. В полидисперсной системе щелевых факелов распыливаемой жидкости [4] скорости витания капель с диаметрами от 5 10^{-4} до 8 10^{-5} м имеют значения от 1,94 до 0,19 м/с. В воздушном потоке струи такие капли распространяются следующим образом [6]. Сравнительно мелкие капли приобретают скорость, равную пульсационной скорости воздуха. Для капель средней крупности скорости капель и воздуха через определенное время становятся близкими между собой. Для капель большой крупности и большого удельного веса ускорение, получаемое за счет разности скоростей капель и воздуха, может стать сравнимым с ускорением силы тяжести, т. е. на турбулентную структуру течения будет оказывать влияние не только присутствие «невесомых» капель, но и вес капель. Если струя направлена горизонтально, то сила тяжести оказывает воздействие на поперечные составляющие пульсационной скорости и не влияет на ее продольные составляющие. В случае наклонной струи вес капель будет оказывать влияние на обе составляющие пульсационной скорости. Для получения информационных сведений для технологии краевой обработке поля опытным путем определялись классовые размеры капель, при их осаждении из воздушно-дисперсной системы на предметные карточки, расположенные на поверхности и на возвышениях.

В таблице 1 приведены данные по дальности осаждения классовых размеров капель на поверхности из воздушно-капельной системы в направлении ее распространения. Ось сопла установлена с наклоном к поверхности площадки 20…^{o} для увеличения дальнобойности струи [6] и осаждения капель на карточках.

Таблица 1 – Классовые размеры капель, осажденные на поверхности из воздушно-капельной системы в направлении ее распространения

№	Средний диаметр капли, мкм			Средне взвешенный, мкм	Количество капель по диапазонам			Процентное соотношение капель			Доля покры-тия, %	Средне число капель на 1 см
	< 150	От150 до 300	> 300		< 150	От150 до 300	> 300	< 150	От150 до 300	> 300		
1	80,3	214,3	787,5	358,193	578,0	332,5	494,5	41,1	23,7	35,2	5,7	40,2
2	74,2	211,1	678,9	281,554	942,5	386,0	524,0	50,9	20,8	28,3	5,8	52,9
3	74,4	206,75	841,4	368,5045	1015,0	464,5	678,5	47,0	21,5	31,4	8,3	61,7
4	75,94	208,5	975,7	443,4145	564,0	259,0	503,0	42,5	19,5	37,9	6,8	37,9
5	77,9	212,4	833,9	389,36	429,0	232,5	411,0	40,0	21,7	38,3	4,8	30,6
6	75,4	208,1	880,9	436,3055	432,5	206,5	395,0	41,8	20,0	38,2	4,9	29,6
7	73,99	219,7	777, 8	410,6255	478,5	183,0	461,0	42,6	16,3	41,1	4,99	32,1
8	76,8	218,97	728,9	361,0465	484,5	316,5	485,5	37,7	24,6	37,7	5,29	36,8
9	81,3	213,57	742,3	352,048	805,0	506,5	706,0	39,9	25,1	35,0	7,8	57,6
10	78,8	213,1	826,9	399,139	936,5	638,5	967,0	36,8	25,1	38,0	11,3	72,7
11	77,1	214,1	776,99	416,3375	695,0	447,0	906,0	33,9	21,8	44,2	9,5	58,6
12	77,9	213,9	769,5	366,908	872,0	514,0	841,5	39,1	23,0	37,8	9,4	63,6
13	78,9	215,1	693,1	340,5725	820,5	515,5	806,5	38,3	24,0	37,6	8,5	61,3
14	76,55	215,7	663,3	282,055	657,5	393,0	458,0	43,6	26,0	30,4	5,1	43,1
15	77,1	207,1	586,4	205,6185	790,5	340,0	266,5	56,6	24,0	19,1	3,5	39,9
16	74,9	209,5	551,93	227,4475	824,0	445,0	412,0	49,0	26,0	24,5	4,4	48,3
17	75,3	209,7	537,1	212,8605	887,0	372,0	380,5	54,1	23,0	23,2	4,1	46,8
18	73,8	210,3	496,3	170,7265	763,5	300,5	194,5	60,7	24,0	15,5	2,7	35,9

Из приведенных в таблице 1 данных важным является то, что среднее число осажденных на поверхности капель на 1 $см^2$ на расстоянии от сопла до 15 м удовлетворяет агротехническим требованиям по применению гербицидов, а также инсектицидов и фунгицидов. При этом, суммарное число капель диапазонами менее < 150 и от 150 до 300 мкм составляет более 60%.

Осаждение капель на поверхности до расстояния 15 м обусловлено пульсацией воздушного потока струи и турбулентностью витающих полидисперсных капель в скоростном потоке воздуха, скорость которого на расстоянии от сопла по оси струи снижалась от 33 до 4,7 м/с.

В таблице 2 приведены данные по осаждению классовых размеров капель из воздушно-капельной системы на карточках, по высоте их расположения на возвышениях в направлении ее распространения.

Таблица 2 – Классовые размеры капель, осажденные из воздушно-капельной системы на карточках по высоте их расположения в направлении ее распространения

№	Средний диаметр капли, мкм			Средне взвешен ный, мкм	Количество капель по диапазонам			Процентное соотношение капель			Доля покрытия, %	Среднее число капель на 1 см^2
	< 150	От150 до 300	> 300		< 150	От150 до 300	> 300	< 150	От150 до 300	> 300		
127	77,2	211,8	1434	719,96	1324	662	1660	36,3	18,2	45,5	28,3	104,2
128	73,9	210, 7	2215	1175,66	1201	546	1777	34,1	15,5	50,4	44,5	100,7
129	73,7	212,8	1951	974,16	1377	675	1794	35,8	17,6	46,6	40,5	109,9
130	77,9	211,8	787,9	355,81	984	618	838	40,3	25,3	34,3	9,5	69,7
131	76,7	204,9	857,2	313,35	311	139	163	50,7	22,7	26,6	2,4	17,5
132	75,8	213,6	688,6	296,13	512	256	341	46,2	23,1	30,7	3,9	31,7
133	71,8	210,9	489,7	132,93	136	42	15	70,5	21,8	7,8	0,6	0,6
134	69,2	214,3	550,3	157,36	71	25	13	65,1	22,9	11,9	0,5	3,1
135	76,7	205,2	500,2	185,64	118	36	39	61,1	18,7	20,2	0,7	5,5

Приведенные в таблице 2 показатели по дисперсности капель на 1 см^2 на расстоянии 5 м от сопла по высоте расположения карточек с повышенным их количеством. На расстоянии 10 метров от сопла число капель на 1 см^2 снижается и в особенности при увеличении высоты их расположения от 69,7 шт./см^2 до 17,5 и 31,7 шт./см^2. На расстоянии от сопла 15 метров капли мелкие и на карточки практически не оседают. Число капель на карточках по диапазонам < 150 мкм, от 150 до 300 мкм и > 300 мкм с увеличением расстояния до 15 м от технического средства снижается. На расстоянии 5 м от технического средства число капель на карточках по высоте их расположения для всех диапазонов практически постоянное. Процентное соотношение: капель размером > 300 мкм по высоте расположения карточек составляет 45,5 %, 50,4 % и 46,6 %; капли размером < 150 мкм – 36,3 %, 34,1 % и 35,8 %; капель размером от150 до 300 мкм – 18,2 %, 15,5 % и 17,6 %. На расстоянии 10 м от технического средства процентное соотношение: капель по высоте распределяется иначе. Капли. размером < 150 мкм – 40,3 %, 50,7 % и 46,2 % ; капли размером > 300 мкм - 34,3 %, 26,6 % и 30,7%; капли размером от 150 до 300 мкм – 25,3 %, 22,7 % и 23,1 %. На расстоянии 15 м от технического средства процентное соотношение: капель по высоте распределения меняется также по-другому. Капли размером < 150 мкм – 70,5 %, 65,1 % и 61,1 % ; капли размером от 150 до 300 мкм – 21,8 %, 22,9 % и 18,7 %;. капли размером > 300 мкм – 7,8 %, 11,9 % и 20,2 %.

Таким образом, при движении технического средства со скоростью 7,2 км/час (2 м/с) суммарный массовый расход рабочей жидкости распылителей при давлении 4 Бар составляет 45,5 г на 1 метр погонный. На обработку 1 км лесополосы потребуется 45,5 литров жидкости. Жидкости, например, в емкости 600 литров достаточно для краевой обработки по периметру поля протяженностью 13,19 км.

Полученные результаты по транспортированию полидисперсной дисперсности в форме воздушно-капельной системы являются убедительной основой о перспективности исследований по улучшению показателей. Классовые размеры капель могут быть получены только опытным путем за счет увеличения производительности воздушного потока, распределения давлений распыливаемой жидкости по распылителям с применением различного их расположения по образующей сопла при рациональной подаче факелов распыливаемой жидкости, расположением сопла по высоте и угла его наклона по отношению к поверхности почвы.

Вывод. Проведенными исследованиями показано, что транспортированием капель факелов распыла щелевых распылителей в форме воздушно-дисперсной системы и их осаждением на объектах назначения, возможно выполнение агротехнических требований разработанным техническим средством при краевой обработке поля.

Список литературы

1. Ревякин Е.Л., Краховецкий Н.Н. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: науч.-аналит. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 124 с.: ил.

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

3. ГОСТ 34630-2019 Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. – Введ. 2021–15–03. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2020. – 38 с.

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

5. Вялых, В. А. Совершенствование и разработка технологий и технических средств защиты растений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01: защищена 20.12.2006. Рамонь, 2006., 549 с. ил. РГБ ОД, 71:07-5/298.

6. Теория турбулентных струй / Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнова И.П. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1984. – 717 с.

References

1. Revyakin E.L., Krahoveckij N.N. Mashiny dlya himicheskoj zashchity rastenij v innovacionnyh tekhnologiyah: nauch.-analit. obzor. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2010. – 124 s.: il.

2. Sposob kraevoj obrabotki polya dlya unichtozheniya sornyakov i vreditelej, zimuyushchih v polezashchitnyh lesopolosah / I.M. Kireev, M.V. Danilov, Z.M. Koval', L.I. Vysochkina, V.O. Marchenko // Vestnik APK Stavropol'ya. – 2020. – № 4 (40). – S. 4-9.

3. GOST 34630-2019 Tekhnika sel'skohozyajstvennaya. Mashiny dlya zashchity rastenij. Opryskivateli. Metody ispytanij. – Vved. 2021–15–03. – M.: FGUP «Standartinform», 2020. – 38 s.

4. Katalog TeeJet Technologies 50A-RU // TeeJet Technologies [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: http://teejet.it/russian/home /literature/catalogs/catalog-51a-ru.aspx (data obrashcheniya 13.01.2021).

5. Vyalyh, V. A. Sovershenstvovanie i razrabotka tekhnologij i tekhnicheskih sredstv zashchity rastenij: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01: zashchishchena 20.12.2006. Ramon', 2006., 549 s. il. RGB OD, 71:07-5/298.

6. Teoriya turbulentnyh struj / Abramovich G.N., Girshovich T.A., Krasheninnikov S.YU., Sekundov A.N., Smirnova I.P. / Pod red. G.N. Abramovicha. – Izd. 2-e, pererab. i dop. – M: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoj literatury. 1984. – 717 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

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

Authors credentials
Affiliations

Kireev Ivan – Full Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory, Leading Researcher, Novokubansk branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotech" (KubNIITiM)), Russia, Novokubansk, e-mail: Kireev.I.M@mail.ru.

Koval Zinaida - Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, Novokubansk branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotech" (KubNIITiM)), Russia, Novokubansk, e-mail: zinakoval@mail.ru.

Danilov Michael - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Processes and Machines in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University", Russia, Stavropol, e-mail: danilomaster80@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 09.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2021

УДК 637.115 УДК 636.03
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-48-57

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТЕЛОК

[1]Филиппова Ольга Борисовна
[1]Фролов Александр Иванович
[1]Бетин Александр Николаевич
[1]Жариков Вадим Сергеевич

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

Реферат. *Применение технологических регламентов производства в сельскохозяйственных предприятиях является одним из основных методов повышения функционирования биотехнических систем в животноводстве. Организация воспроизводства стада предусматривает использование целевых показателей роста и развития молодняка крупного рогатого скота на всех этапах его выращивания. Интенсификация выращивания ремонтных телок возможна только при полноценном и сбалансированном кормлении. Применение биологически активных кормовых добавок позволяет улучшить качество рационов, предотвратить возникновение заболеваний животных, стимулировать пищевую активность. В условиях молочного комплекса проведен научно-производственный опыт на телках голштинской породы в возрасте от рождения до 6 месяцев. Животные опытной группы получали в составе основного рациона кормовые добавки. Объекты изучения: изменение живой массы и среднесуточного прироста; показатели роста и развития (промеры, индексы телосложения); затраты кормов на единицу прироста живой массы. В 6-месячном возрасте телки опытной группы превосходили контрольных животных по ширине груди за лопатками на 4,5 % и обхвату груди за лопатками – на 3,5 %. За период от рождения до 2 месяцев валовой прирост живой массы и среднесуточный прирост опытных телок был выше контрольных показателей на 12,9 %. В целом за период от рождения до 6-месячного возраста различия в валовом приросте составили 4,2 %, а в среднесуточном приросте – 4,3 % в пользу телок опытной группы. Полученные показатели продуктивности свидетельствуют о правильно выбранной стратегии кормления.*

Ключевые слова: *молочное скотоводство, воспроизводство стада, продуктивность.*

INNOVATIVE TECHNIQUES FOR GROWING CALVES

[1]Filippova Olga
[1]Frolov Alexander
[1]Betin Alexander
[1]Zharikov Vadim

[1]Federal State Budgetary Scientific Institution

«All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture»

Abstract. *The application of technological production regulations in agricultural enterprises is one of the main methods for improving the functioning of biotechnical systems in animal husbandry. The organization of herd reproduction envisages the use of target indicators of growth and development of young cattle at all stages of its cultivation. Intensification of the cultivation of repair calves is possible only with full and balanced feeding. Application of biologically active fodder additives allows improving the quality of diets, preventing the occurrence of animal diseases and stimulating food activity. In the conditions of the dairy complex, a scientific and production experience was carried out on calves of the Holstein breed from birth to 6 months. Animals of the experimental group received feed supplements as part of the main diet. Objects of study: change in live mass and average daily growth; growth and development indicators (measures, physique indices); feed consumption per unit of live weight increase. At the age of 6 months, the bodies of the experimental group exceeded the control animals in breast width behind the blades by 4.5% and breast girth behind the blades - by 3.5%. For the period from birth to 2 months, the gross increase in live weight and the average daily increase in experimental calves was 12.9% higher than the control indicators. In general, for the period from birth to 6 months of age, the differences in gross growth amounted to 4.2%, and in the average daily increase - 4.3% in favor of the calves of the experimental group. The productivity indicators obtained indicate a properly chosen feeding strategy.*

Key words*: dairy cattle breeding, herd reproduction, productivity.*

Введение. Исследования ученых показывают, что применение технологических регламентов производства в сельхозпредприятиях, является одним из актуальных и основных методов повышения функционирования биотехнических систем, в том числе, используемых в животноводстве [1]. Показатели продуктивности, генетического потенциала коров, расходы на их лечение и осеменение и в целом экономической эффективности отрасли молочного скотоводства зависят от организации воспроизводства стада.

Современная технология ведения интенсивного молочного скотоводства предусматривает использование различных систем кормления и содержания животных в зависимости от производственных задач. Для увеличения периода продуктивного использования высокоудойных коров и повышения качества получаемого молока в первую очередь следует позаботиться о состоянии здоровья выращиваемых ремонтных телочек. Высокий уровень заболеваемости новорожденных телят и молодняка существенно ограничивает реализацию их генетического потенциала в будущем.

Наибольшего внимания по всем параметрам требуют телята в период от рождения до 6 месяцев, когда у них происходит перестройка желудочно-кишечного тракта от молочного питания к потреблению растительных кормов, В возрасте 12-18 месяцев продолжается формирование органов размножения и молочной железы животного. В качестве цели при планировании роста и развития тёлок следует ориентироваться на 24-месячный возраст при первом отёле. В этом случае осеменять животных следует в возрасте не старше 17-18 месяцев при живой массе 360-380 кг. Короткий период выращивания коровы более выгоден с экономической точки зрения, так как способствует снижению затрат [2, 3].

Организация воспроизводства стада предусматривает использование целевых показателей роста и развития молодняка крупного рогатого скота на всех этапах его выращивания. Чтобы ко времени первого отела в 24 месяца животные достигли величины живой массы 600 кг следует контролировать динамику изменения их роста и развития. С момента рождения и до первого отела телке необходимо набирать примерно 23 кг ежемесячно, или не менее 800 г в сутки.

Интенсификацию выращивания молодняка необходимо проводить при полноценном и сбалансированном кормлении во все периоды постнатального периода [4-6]. Применение биологически активнодействующих кормовых добавок позволяет улучшить качество рационов, предотвратить возникновение заболеваний животных, стимулировать пищевую активность, и, как следствие, повысить рост и развитие молодняка, а в последствие – молочную продуктивность коров [7-9].

Цель исследований заключалась в усовершенствовании технологии производства молока в условиях роботизированного доения за счет интенсификации роста и развития молодняка на этапе от рождения до 6-месячного возраста.

Материал и методы исследования. Научно-производственный опыт проводится в условиях молочного комплекса ООО «Тамбов-Молоко» на телках голштинской породы. Были сформированы 2 группы животных в соответствии с требованиями по подбору аналогов, условиям кормления и содержания (таблица 1). Кормление животных осуществлялось по детализированным нормам, соответствующим возрасту и запланированной продуктивности [10, 11]. Среднесуточные рационы состояли из молочных кормов (молозиво, молоко сборное и ЗЦМ), сенажа злаково-бобового, сена злаково-бобового, гранулированного стартерного комбикорма.

Разработанная программа выращивания телок позволила планировать целевые показатели среднесуточных приростов живой массы, величину обменной энергии, сухого вещества и протеина по фазам физиологического развития животных, последовательность и сроки их выполнения.

Таблица 1 – Схема первого этапа научно-производственного опыта

Группа	n	Условия проведения опыта
Контрольная	10	Основной рацион (ОР), принятый в хозяйстве до 6-месячного возраста.
Опытная	10	ОР + синбиотическая кормовая добавка с 3-х до 30-суточного возраста по 5 г/гол./сут. с молочными кормами, затем до 6-месячного возраста кормовая добавка «Agolin Ruminant» по 0,5 г/гол./сут. с комбикормом.

Целевые показатели выращивания молодняка: среднесуточный прирост живой массы до 2-месячного возраста – 700-800 г, до 10-месячного возраста – 800-900 г; срок появления первой охоты и осеменения – в 15-16 мес.; высота в холке в возрасте 15 мес. – не менее 122-128 см; живая масса – 60 % от массы взрослой коровы; среднесуточный прирост живой массы после осеменения – не менее 650-700 г/сут; планируемый отел – в 24-25 мес.

Таблица 2 – Рецепт синбиотической кормовой добавки для телят

Компонент	%	В 10 г содержится, г	Основные функции
Ромашка лекарственная (*Matricaria recutita L.*)	38	3,8	Противовоспалительное и антисептическое действие, стимуляция секреции пищеварительных желез
Люцерна синяя (Medicago)	25	2,5	Источник биологически активных соединений
Живица еловая (терпентин)	5	0,5	Антибактериальное и иммуномодулирующее действие
Фруктоза (4000 ккал/кг или 16,7 Мдж ОЭ/кг)	15	1,5	Является питательной средой для кишечных лактобацил и бифидобактерий
Ветом 1 (сухая масса живых спорообразующих бактерий *Bacillus subtilus*)	5	0,5	Оптимальное развитие полезной микрофлоры кишечника, профилактика дисбактериоза и диареи
Аскорбиновая кислота (растворимость - 33 г/100 мл)	10	1,0	Кофермент метаболических процессов, антиоксидант, активирует синтез антител и способствует фагоцитозу
Сел-Плекс (Alltek, Se –1000 мг/кг)	2	0,2	Антиоксидант, активизирует процессы ферментации

Профилактика заболеваний телят опытной группы предусматривалась за счет использования биологически активных добавок, исключающего применение ветеринарных препаратов. Для модулирования рубцовой микрофлоры молодняка крупного рогатого скота сотрудниками лаборатории технологии производства кормов и продуктов животноводства ФГБНУ ВНИИТиН разработан рецепт синбиотической кормовой добавки (табл. 2). Часть компонентов была использована ранее в рецептах добавок, прошедших производственную апробацию [12].

Добавка содержит в доступной форме аминокислоты, биогенные минеральные элементы, органические кислоты, различные биологически активные вещества, в том числе, флавоноиды, обладающие противовоспалительным, антиоксидантным и иммуностимулирующим действиями. Бактерии *Bacillus subtilus* (штамм DSM 32424) выделяют в кишечнике животных антибиотикоподобные субстанции, ферменты, под воздействием которых нормализуется биоценоз кишечника, кислотность среды, всасывание железа, кальция и других питательных элементов

С месячного возраста в комбикорм опытным животным введена кормовая добавка «Agolin Ruminant» (Швейцария) по 0,5 г/гол. /сут. (табл. 3).

Таблица 3 – Основные компоненты кормовой добавки «Agolin Ruminant»

Компонент	Функция	Источник
Кориандровое масло	Препятствует размножению болезнетворных бактерий и грибов; антиоксидант	Кориандр (*Coriandrum sativum L.*).
Эвгенол	Препятствует размножению болезнетворных бактерий и грибов; придает приятный запах	Мускатный орех (*Myristica fragrans H.*), гвоздика пряная (*Syzygium aromaticum L.*)
Геранилацетат	Придает приятный запах и вкус	Дикая морковь (*Daucus carota L.*); лимонное сорго (*Cymbopogon nardus DC.*)

Данная многофункциональная добавка представляет собой смесь активных растительных компонентов, обладает специфическим ароматом, удобной физической формой (сыпучие гранулы с инкапсулированными компонентами). Кориандр обладает антибактериальным, антиоксидантным свойствами. Масло его плодов содержит около 25 различных активных субстанций. В эфирных маслах мускатного ореха и гвоздики пряной содержится эвгенол – феноловое соединение, имеющее специфический гвоздичный запах. В эфирных маслах дикой моркови и лимонного сорго присутствует терпеноид геранилацетат, обладающий приятным фруктовым запахом.

Объекты исследования: изменение живой массы и среднесуточного прироста телок по фазам онтогенеза; рост и развитие телок (промеры, индексы телосложения); затраты кормов на единицу прироста живой массы.

Проведена биометрическая обработка результатов, полученных в эксперименте. Различия между изучаемыми показателями рассматривались как статистически значимые, начиная с уровня вероятности ошибки $p \leq 0,05$. Особо значимые показатели эксперимента анализированы с применением обобщенной функции желательности Харрингтона [13].

Результаты исследования. Перед проведением эксперимента были определены аллергенные свойства экспериментальной фитосмеси. Ее аппликации на кожу животных в области ушной раковины не выявили отечности, гиперемии и других признаков воспалительной реакции.

Доение роботами предусматривает использование на фермах беспривязный способ содержания коров, к которому приучают телочек с рождения. Такой способ содержания позволяет животным свободно перемещаться в помещении и на выгульных площадках, а также дает возможность механизировать основные технологические процессы. В результате значительно сокращаются затраты труда на получение 1 ц молока.

В первый период выращивания (до 2-х месяцев) подопытные телочки содержались в домиках-боксах эргономичной формы, обладающие хорошей теплоизоляцией. Внутри домика обеспечивается хорошая циркуляция свежего воздуха, но полностью отсутствуют сквозняки. Полупрозрачный материал позволяет солнечным лучам проникать внутрь, полиэтиленовый корпус на солнце не нагревается, не создается парниковый эффект. Размеры домика-бокса: в длину 2-2,5 м, в высоту 1-1,3 м, в ширину 1-1,3 м.

Перед каждым домиком предусмотрена индивидуальная огороженная выгульная площадка – вольер. Размеры вольера в длину 1,5 м, в высоту – до 1 м, ширина соответствует ширине домика (рис. 1). Такая технология содержания приучает телёнка самостоятельно делать выбор в зависимости от погодных условий – находиться на улице в вольере или оставаться в домике. В тыловой части домика за счёт значительной длины создаётся воздушный тамбур, позволяющий поддерживать необходимый микроклимат. Пластик, из которого производятся домики, непрозрачен для ультрафиолетовых лучей. Таким образом, даже при очень высоких или очень низких температурах животное чувствует себя в домике комфортно.

а б

Рисунок 1 – Круглогодичное содержание телят в домиках:
а) летний период; б) зимний период

Поскольку телята изолированы друг от друга, то передача различных болезней от больного животного к здоровому сведена до минимума. Достаточное пространство в домике позволяет растущему телёнку свободно и активно двигаться, у него нормально развиваются конечности и мышечная система. Кроме того индивидуальное содержание позволяет устранить кормовую конкуренцию, которая обычно возникает в группах. Родившийся слабым телёнок благодаря индивидуальному содержанию и кормлению, имеет возможность догнать более крепких сверстников к моменту перевода на групповое содержание.

После двухмесячного выращивания подопытного молодняка на открытой площадке в индивидуальных домиках он был переведен в телятник на 180 голов, где содержится до 14-месячного возраста в групповых секциях, рассчитанных на 20 животных. Размеры секций 6×12 м, полы бетонные с соломенной подстилкой. Удаление навоза из секций производится трактором, раздача кормов на кормовой стол – одношнековым кормораздатчиком-смесителем Делаваль, поение животных осуществляется из автопоилок.

За 2-месячный период подопытным телкам планировалось потребление молозива и молока – 305 кг, стартерного комбикорма – 47 кг. Фактическое среднесуточное потребление кормов контрольных и опытных телок составило, кг/гол.: молочных кормов – по 5,1; стартерного комбикорма – 0,55-0,62 соответственно. Животными контрольной и опытной групп затрачено на 1 кг прироста живой массы: ЭКЕ – 3,34 и 3,07 (-8,1%); переваримого протеина на 1 ЭКЕ – 353 и 321 г (- 9,1%) соответственно. В последующем в рацион постепенно вводились сено мелко-листовое, сенаж бобово-злаковый.

В среднесуточном рационе телок обеих групп, рассчитанном по фактически потребленным кормам за шесть месяцев, содержалось 3,65-3,79 ЭКЕ и 487-504 г переваримого протеина. По макро- и микроэлементному составу рационы удовлетворяли физиологические потребности животных. Концентрация переваримого протеина в единице энергии и энергии в сухом веществе рационов отвечали уровню запланированной продуктивности. Сахаро-протеиновое и кальций-фосфорное отношения, а также количество клетчатки были в пределах нормы.

По результатам учета кормов за 6-месячный период установлено, что телята опытной группы использовали сена и сенажа больше на 10,6-1,6 % соответственно, а стартерного комбикорма – на 5,6 % по отношению к контрольным животным (табл. 4).

Таблица 4 – Расход кормов рациона на 1 животное за период 6 месяцев, кг

Показатели	Группа		Опыт / Контроль, ±%
	Контрольная	Опытная	
Молочные корма	306	306	-
Сено бобовое	210,4	232,7	+ 10,6
Сенаж злаково-бобовый	188	191	+ 1,6
Стартерный комбикорм	122,2	129,1	+ 5,64
Валовой прирост за 6 мес.	134,2	139,8	+ 4,2
Обменной энергии, мДж	6564,6	6816,6	+ 3,83
Переваримого протеина, г	87660 г	90702 г	+ 3,47
ЭКЕ на 1 кг прироста	4,89	4,87	- 0,41
ПП на 1 кг прироста, г	653	648	- 0,8

Помимо лечебно-профилактического эффекта, ароматические вещества, содержащиеся в добавках, стимулировали большее потребление корма, положительно повлияли на его усвоение.

Содержание в рационах протеина, энергии и других питательных веществ, необходимых для обеспечения оптимального роста и развития животных, позволило в эксперименте достичь запланированных целевых показателей по росту и развитию молодняка (табл. 5).

По результатам промеров статей телки опытной и контрольной групп в возрасте 2 месяцев не имели существенных различий. Однако по мере роста в 6-месячном возрасте телки опытной группы превосходили контрольных животных по ширине груди за лопатками на 4,5 % ($p \leq 0,05$) и обхвату груди за лопатками – на 3,5 % ($p \leq 0,01$).

Таблица 5 – Промеры статей и индексы телосложения телок по периодам

Показатель	Группа / Период			
	Контрольная		Опытная	
	2 мес.	6 мес.	2 мес.	6 мес.
Промеры статей, см				
Высота в холке	84,0 ± 0,80	101,2 ± 0,33	87,0 ± 0,90	102,1 ± 0,60
Высота в крестце	90,5 ± 0,70	106,4 ± 0,22	91,5 ± 0,73	106,9 ± 0,43
Глубина груди	31,9 ± 0,23	41,1 ± 0,28	32,0 ± 0,26	44,8 ± 0,25
Ширина груди за лопатками	20,1 ± 0,72	26,4 ± 0,22	19,0 ± 0,21	27,6 ± 0,30*
Косая длина туловища	84,9 ± 0,21	102,1 ± 0,57	85,0 ± 0,63	105,6 ± 0,37**
Обхват груди за лопатками	90,2 ± 0,25	121,3 ± 0,52	91,2 ± 0,10	125,4 ± 0,40**
Обхват пясти	12,1 ± 0,07	14,6 ± 0,11	12,3 ± 0,10	14,8 ± 0,10
Индексы телосложения, %				
Высоконогости	62,00	62,00	63,00	62,02
Растянутости	101,07	105,03	97,70	105,40
Переросложности	107,73	106,80	105,17	106,90
Сбитости	106,20	111,06	107,20	111,80
Костистости	14,40	14,60	14,14	14,70
Примечание – *$p \leq 0,05$; **$p \leq 0,01$				

По результатам расчетов индексов телосложения телок существенных различий между группами установлено не было. Животные развивались пропорционально изменению массы тела, формирование которого соответствует молочному типу крупного рогатого скота.

Показатели продуктивности (живая масса и среднесуточный прирост) телок приведены в таблице 6.

Таблиц 6 – Изменение живой массы и среднесуточных приростов телят

Показатель	Группа	
	Контрольная	Опытная
Живая масса при рождении, кг	37,8 ± 0,33	38,0 ± 0,30
через 2 месяца, кг	75,0 ± 1,32	80,0 ± 0,83*
через 6 месяцев, кг	171,9 ± 1,97	177,8 ± 1,75
Валовой прирост за период 0-2 мес., кг	37,2 ± 1,50	42,0 ± 0,89*
± к контролю, %	-	+ 12,9
Среднесуточный прирост за 0-2 мес., г	620 ± 25,1	700 ± 14,8*
± к контролю, %	-	+ 12,9
Валовой прирост за период 2-6 мес., кг	96,9 ± 1,59	97,8 ± 1,23
± к контролю, %	-	+ 0,9
Среднесуточный прирост за 2-6 мес., г	808 ± 13,2	815 ± 10,2
± к контролю, %		+ 0,8
Валовой прирост за период 0-6 мес., кг	134,2 ± 2,00	139,8 ± 1,83
± к контролю, %	-	+ 4,2
Среднесуточный прирост за 0-6 мес., г	745 ± 11,1	777 ± 10,2
± к контролю, %	-	+ 4,3
Примечание – * $p \leq 0,05$		

Через два месяца экспериментального кормления телят отмечено статистически значимое различие в живой массе между группами, которое составило 5,0 кг (6,7 %, $p \leq 0,05$) в пользу опытных животных. За период от рождения до 2 месяцев валовой прирост живой массы и среднесуточный прирост опытных телок был выше контрольных показателей на 12,9 %.

В период от 2-х до 6-месячного возраста различия в валовом и среднесуточном приросте между группами составили менее 1%. При этом живая масса телят опытной группы в 6 месяцев была выше на 3,4 % ($p > 0,05$) по отношению к аналогичному показателю в контрольной группе.

В целом за период от рождения до 6-месячного возраста различия в валовом приросте составили 4,2 % ($p > 0,05$), а в среднесуточном приросте – 4,3 % ($p > 0,05$) в пользу телок опытной группы.

Для сравнительного анализа живой массы и среднесуточного прироста двух групп подопытных телок в эксперименте использовался метод обобщенной функции желательности Харрингтона, позволяющий преобразовывать натуральные значения исследуемых показателей в шкалу желательности (табл. 7).

Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение $(d_i = 0)$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение $(d_i = 1)$ – самому лучшему значению свойства.

Функция желательности отражает зависимость показателей желательности от безразмерных показателей по формуле:

$$d = e^{-e^{y'}},$$

где y' - кодированное значение параметра y.

Полученные значения d_i пересчитываются вместе с другими в обобщенный коэффициент желательности *D*, который представляет собой среднее геометрическое отклонение частных показателей желательности и рассчитывается по формуле:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot \ldots \cdot d_n}$$

При использовании в расчетах метода обобщенной функции желательности установлено, что у телок опытной группы в двухмесячном возрасте показатель желательности качества по живой массе был выше контрольного (0,7980 < 0,6452), при этом оба показателя находились в интервальном диапазоне 0,63-0,80 – «хорошо» (табл. 3). Показатель желательности по среднесуточному приросту живой массы у телок опытной группы также был выше контрольного показателя (0,7580 < 0,0,5385), который находился в интервальном диапазоне 0,37-0,63 – «удовлетворительно».

Таблица 7 – Оценка показателей продуктивности тёлок по шкале желательности значений (d)

Градация желательности качества	Диапазон значений d	Живая масса, кг		Прирост, г	
		в 2 мес.	в 6 мес.	в 2 мес.	в 6 мес.
Отлично	0,80 ≤ d < 1,00	85	180	800	900
Хорошо	0,63 ≤ d < 0,80	80	175	700	800
Удовлетворительно	0,37 ≤ d < 0,63	75	165	650	750
Плохо	0,20 ≤ d < 0,37	65	160	550	650
Очень плохо	0,00 ≤ d < 0,20	< 65	< 160	<550	<650

Результат оценки				
Группа	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г	
	в 2 мес.	в 6 мес.	за 2 мес.	за 6 мес.
Контрольная	0,6452	0,7534	0,5385	0,8081
Опытная	0,7980	0,8715	0,7580	0,8409

В возрасте 6 месяцев показатели желательности качества по живой массе и среднесуточному приросту у телок опытной группы были выше и находились в интервальном диапазоне 0,80-1,00 – «отлично». Следовательно, полученные показатели продуктивности свидетельствуют о правильно выбранной стратегии кормления телок опытной группы, положительном влиянии биологически активных кормовых добавок. Содержание в рационах протеина, энергии и других питательных веществ, необходимых для обеспечения оптимального роста и развития животных, позволило в эксперименте достичь запланированных целевых показателей по росту и развитию молодняка.

Выводы. Включение в рационы телок комплексной синбиотической кормовой добавки, содержащей фитосмесь из лекарственных растений, пробиотика, биологически активных веществ, а также вкусовой добавки Agolin Ruminant стимулировали рост и развитие молодняка на первых этапах постнатального онтогенеза. Полученные данные по среднесуточному приросту живой массы молодняка соответствовали целевым показателям выращивания телок. Среднесуточное потребление сухого вещества и энергии у телок опытной группы в основном соответствовали целевым показателям, у животных контрольной группы по сравнению с опытной они были меньше на 6,8 и 3,7 % соответственно.

Согласно шкале градаций обобщенной функции желательности показатели продуктивности у телок опытной группы были выше аналогичных показателей в контрольной группе животных, что свидетельствует о верно выбранной стратегии их кормления.

Список литературы

1. Технологический регламент экструдирования смеси зерновых и зеленых кормов при внутрихозяйственном приготовлении комбикормов / В.И. Пахомов, С.В. Брагинец, А.С. Алферов, О.Н. Бахчевников, Е.В. Бенова, А.И. Рухляда, М.В. Чернуцкий. – Зерноград: ФГБНУ АНЦ «Донской», 2017. – 60 с. – Режим домтупа: https://www.researchgate.net/publication/321997790.

2. Сивкин Н.В., Стрекозов Н.И. К вопросу о возрасте и живой массе при первом осеменении телок молочных пород // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 2. – С. 3-6.

3. Петрухина Л.Л., Белозерцева С.Л. Влияние возраста первого осеменения и живой массы на молочную продуктивность коров // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50. – № 2. – С. 57-63.

4. Назарова К.П., Кудрин М.Р., Симакова К.С. Технологии выращивания ремонтных телок, способствующие раннему их осеменению // Научное обозрение. Биологические науки. – 2017. – № 2. – С. 117-121.

5. Филиппова О.Б., Фролов А.И., Кийко Е.И. Условия кормления телят – залог будущего долголетия коров // Главный зоотехник. – 2015. – № 8. – С. 11-18.

6. Опыт создания высокопродуктивных молочных стад / Г.А. Симонов [и др.] // Зоотехния. – 2005. – № 1. – С. 11-15.

7. Смирнова Ю.М., Платонов А.В. Влияние ферментативно-пробиотических препаратов на пищевое поведение и продуктивность коров-первотелок // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 5. – С. 47-50.

8. Фитокомплекс с биоплексами микроэлементов в рационах коров транзитного периода / А.И. Фролов, О.Б. Филиппова, Р.К. Милушев, В.Ю. Лобков, Н.Г. Ярлыков // Вестник АПК Верхневолжья. – 2016. – № 4(36). – С. 33-42.

9. Impact of endocrine-disrupting compounds (EDCs) on female reproductive health / P.A. Fowler, M. Bellingham, K.D. Sinclair, N.P. Evans, P. Pocar, B. Fischer, K. Schaedlich, J.-S. Schmidt, M.R. Amezaga, S. Bhattacharya, S.M. Rhind, P.J. O'Shaughnessy // Molecular and Cellular Endocrinoljgy. – 2012. – V. 355. – P. 231-239.

10. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справоч. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – Москва, 2003. – 456 с.

11. Нормированное кормление высокопродуктивных коров на основе поведенческих реакций / В.А. Иванов, Ф.Э. Ким, А.А. Черников, Ю.Ф. Гречко // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 3. – С. 120-126.

12. Патент 2739401 Российская Федерация. Фитосинбиотическая кормовая добавка для телят: № 2020123464/10(040539) ; заявл. 27.06.2020 ; опубл. 23.12.2020. Бюл. № 36.

13. Harrington J. The desirability function // Industrial Quality Control. – 1965. – Vol. 21 (10). – P. 494-498.

References

1. Tekhnologicheskij reglament ekstrudirovaniya smesi zernovyh i zelenyh kormov pri vnutrihozyajstvennom prigotovlenii kombikormov / V.I. Pahomov, S.V. Braginec, A.S. Alferov, O.N. Bahchevnikov, E.V. Benova, A.I. Ruhlyada, M.V. CHernuckij. – Zernograd: FGBNU ANC «Donskoj», 2017. – 60 s. – Rezhim domtupa: https://www.researchgate.net/publication/321997790.

2. Sivkin N.V., Strekozov N.I. K voprosu o vozraste i zhivoj masse pri pervom osemenenii telok molochnyh porod // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2017. – № 2. – S. 3-6.

3. Petruhina L.L., Belozerceva S.L. Vliyanie vozrasta pervogo osemeneniya i zhivoj massy na molochnuyu produktivnost' korov // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2020. – T. 50. – № 2. – S. 57-63.

4. Nazarova K.P., Kudrin M.R., Simakova K.S. Tekhnologii vyrashchivaniya remontnyh telok, sposobstvuyushchie rannemu ih osemeneniyu // Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki. – 2017. – № 2. – S. 117-121.

5. Filippova O.B., Frolov A.I., Kijko E.I. Usloviya kormleniya telyat – zalog budushchego dolgoletiya korov // Glavnyj zootekhnik. – 2015. – № 8. – S. 11-18.

6. Opyt sozdaniya vysokoproduktivnyh molochnyh stad / G.A. Simonov [i dr.] // Zootekhniya. – 2005. – № 1. – S. 11-15.

7. Smirnova YU.M., Platonov A.V. Vliyanie fermentativno-probioticheskih preparatov na pishchevoe povedenie i produktivnost' korov-pervotelok // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2020. – № 5. – S. 47-50.

8. Fitokompleks s biopleksami mikroelementov v racionah korov tranzitnogo perioda / A.I. Frolov, O.B. Filippova, R.K. Milushev, V.YU. Lobkov, N.G. YArlykov // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2016. – № 4(36). – S. 33-42.

9. Impact of endocrine-disrupting compounds (EDCs) on female reproductive health / P.A. Fowler, M. Bellingham, K.D. Sinclair, N.P. Evans, P. Pocar, B. Fischer, K. Schaedlich, J.-S. Schmidt, M.R. Amezaga, S. Bhattacharya, S.M. Rhind, P.J. O'Shaughnessy // Molesular and Cellular Endocrinoljgy. – 2012. – V. 355. – P. 231-239.

10. Normy i raciony kormleniya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh: spravoch. posobie. – 3-e izd., pererab. i dop. / Pod red. A.P. Kalashnikova, V.I. Fisinina, V.V. SHCHeglova, N.I. Klejmenova. – Moskva, 2003. – 456 s.

11. Normirovannoe kormlenie vysokoproduktivnyh korov na osnove povedencheskih reakcij / V.A. Ivanov, F.E. Kim, A.A. CHernikov, YU.F. Grechko // Vestnik VNIIMZH. – 2013. – № 3. – S. 120-126.

12. Patent 2739401 Rossijskaya Federaciya. Fitosinbioticheskaya kormovaya dobavka dlya telyat: № 2020123464/10(040539) ; zayavl. 27.06.2020 ; opubl. 23.12.2020. Byul. № 36.

13. Harrington J. The desirability function // Industrial Quality Control. – 1965. – Vol. 21 (10). – P. 494-498.

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

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

Фролов Александр Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии производства кормов и продуктов животноводства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Россия, e-mail: mr-frolov-alexandr2011@yandex.ru.

Бетин Александр Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии производства кормов и продуктов животноводства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Россия, e-mail: betin1947@yandex.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в животноводстве Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Россия, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Affiliation

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

Frolov Alexander – Candidate of agricultural Sciences, Leading Scientific Worker, Laboratory of Feed and Animal Products Production Technology, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia, e-mail: mr-frolov-alexandr2011@yandex.ru.

Betin Alexander – Candidate of agricultural Sciences, Leading Scientific Worker, Laboratory of Feed and Animal Products Production Technology, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia, e-mail: betin1947@yandex.ru.

Zharikov Vadim – Junior Researcher, Laboratory of Quality Management of Technological Processes in Livestock Breeding, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russia, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.09.2021 Принята к публикации (Accepted):19.10.2021

УДК 636.085.552
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-58-65

ВЛИЯНИЕ СКАРМЛИВАНИЯ ПРЕСТАРТЕРНОГО КОМБИКОРМА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПОРОСЯТ-СОСУНОВ

[1,2]Энговатов Дмитрий Вячеславович
[1]Гаглоев Александр Черменович
[2]Энговатов Вячеслав Федорович
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Не только от состава и качества кормов зависят продуктивные качества молодняка свиней, но и от технологии его приготовления. Цель работы - разработка отечественного белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК) и использование его в составе гранулированного комбикорма поросятами-сосунами при раннем отъёме с улучшенной технологической обработкой. Научные и производственные испытания проводились на свиноводческом комплексе Тамбовской области. Показана эффективность скармливания поросятам-сосунам раннего отъема разработанного белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК) в составе престартерного комбикорма. Дано краткое описание технологии обработки и приготовления из высокобелковых компонентов и биологически активных веществ полнорационного гранулированного комбикорма для поросят раннего отъема в 24 дня с устранением антипитательных веществ из корма. Для повышения качества белковых кормов и снижения в них антипитательных веществ до безопасного уровня на ПЭ-900УШ, это пресс-экструдер на котором проверены разные режимы обработки полножирной сои для инактивации антипитательных веществ. Выяснено, что при 135-140°С получается продукт уже готовый и имеющий нормативные параметры по уреазе. Получено то, что престартерный комбикорм с отечественным белковым концентратом – БВМК по продуктивному действию не уступает полнорационному гранулированнрму комбикорму с обогатительной добавкой БВМК-25 импортного производства фирмы HL Hamburger Leistungsfutter. Результаты исследований подтвердили благотворное физиологическое влияние на состояние, рост и развитие поросят и о более интенсивном использовании свиноматок за счет сокращения срока отъема при скармливании разработанного отечественного белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК).*

Ключевые слова: *технология приготовления, белково-витаминно-минеральный концентрат (БВМК), корма, престартерный, высокобелковый, гранулированный комбикорм, концентрат, обработка сырья, поросята-сосуны раннего отъема, продуктивность, экономическая эффективность.*

THE EFFECT OF FEEDING PRESTARTER COMPOUND FEED ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUCKLING PIGLETS OF EARLY WEANING

[1,2]Engovatov D.
[1]Gagloev A.
[2]Engovatov V.
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Michurinsk State Agrarian University"
[2]FGBNU "All-Russian Research Institute for the Use of Technology and Oil Products in Agriculture"

Abstract. *The productive qualities of young pigs depend not only on the quality and composition of feed, but also on the technology of its preparation. The purpose of the work is to develop a domestic protein-vitamin-mineral concentrate (BVMK) and use it in the composition of granulated feed by suckling pigs at early weaning with improved technological processing. Scientific and industrial tests were carried*

out at the pig-breeding complex of the Tambov region. The efficiency of feeding the developed protein-vitamin-mineral concentrate (BVMK) in the composition of the prestarter feed was shown. A brief description of the technology of processing and preparation of high-protein components and biologically active substances of complete granular compound feed for piglets of early weaning at 24 days with the elimination of anti-nutrients from the feed is given. To improve the quality of protein feeds and reduce anti-nutrients in them to a safe level, different modes of processing full-fat soybeans were tested on the PE-900 Ush extruder to inactivate anti-nutrients. Different modes of processing full-fat soybeans to inactivate anti-nutrients were tested on a PE-900 Ush extruder to improve the quality of protein feed and reduce anti-nutrients in them to a safe level. It has been established that at a temperature of 135-140 ° C it is possible to obtain a finished product with standard parameters for urease. It was found that the experimental pre-starter compound feed with a domestic protein concentrate – BVMK in terms of productive action is not inferior to the full-feed granulated compound feed with an imported enrichment additive BVMK-25 from HL Hamburger Leistungsfutter. The research results confirmed the beneficial physiological effect on the condition, growth and development of piglets and more intensive use of sows by reducing the weaning period when feeding the developed domestic protein-vitamin-mineral concentrate (BVMK).

Key words: *preparation technology, protein-vitamin-mineral concentrate (BVMK), feed, prestarter, high-protein, granulated feed, concentrate, raw material processing, early weaning suckling pigs, productivity, economic efficiency.*

Введение. Свиноводство – одна из наиболее высокоэффективных отраслей АПК животноводства, динамично развивающаяся в России в последнее время, свиноводческие предприятия вместе с производителями иных отраслей, стали одни из главных поставщиков мяса и мясопродуктов на внутреннем рынке в России.

Однако достигнутые значительные достижения в области развития АПК России и особенно в свиноводстве, как наиболее скороспелой отрасли, позволяют повысить продуктивный потенциал за короткий промежуток времени. Свиноводству отводится значительная роль и одним из путей повышения продуктивности отрасли считается в настоящее время концепция создания отечественных престартерных гранулированных комбикормов и кормовых белковых концентратов (БВМК) для поросят-сосунов раннего отъема [3, 4, 5, 6].

Практика ранних отъемов поросят в настоящее время получает всё большее распространение, но в этом периоде требуется создание максимально насыщенного рецепта для кормления, так как поросята менее развитые с несовершенной пищеварительной системой, а создание концепции кормления поросят требует особого похода [7, 8].

В связи с этим, одним из выгодных направлений в исследованиях, является изыскание и изучение новой кормовой добавки (БВМК) в составе гранулированного комбикорма, которая способствовала бы активации процессов пищеварения и повышению их продуктивности. Благодаря процессу грануляции и изменению физико-химических свойств растительных волокон, образуются низкомолекулярные углеводы, которые обеспечивают биологическую полноценность рационов, а значит и увеличение продуктивности молодняка свиней. При этом необходимо отметить, что только комплексный подход в решении проблем полноценного кормления поросят раннего отъема в различных зонах нашей страны в последнее время приобретает особую значимость.

Такие комбикорма-стартеры нашего производства должны изготавливаться из растительных кормов с вкусовыми качествами но, их нужно вводить после температурной обработки - экструдировании, эспандировании и других обработок, а что касается высокобелковых кормов и масличных культур, то для более лучшего усвоения питательных веществ поросятами их можно использовать только после полной инактивации антипитательных веществ.

Поэтому разработка отечественного белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК) и использование его в составе гранулированного комбикорма поросятами-сосунами при раннем отъёме с улучшенной технологической обработкой стала предметом и целью наших исследований.

Материалы и методы исследований. При производстве БВМК и престартерного гранулированного комбикорма был выполнен целый комплекс работ по подготовке, технологической обработке и изготовлению сырья.

Научные и производственные испытания проводились на свиноводческом комплексе Тамбовской области. В разработку кормовой добавки и престартерного комбикорма добавлены научно-обоснованные компоненты, биологически активные вещества, корма животного происхождения, корректоры качества растительного белка и комплексные препараты для профилактики и оздоравления ЖКТ с синергическим взаимодействием, благотворно оказывающим влияние на обмен веществ и иммунитет животных.

Для улучшения качества белковых кормов и снижения в них антипитательных веществ до безопасного уровня на пресс-экструдере ПЭ-900 УШ опробованы различные режимы обработки полножирной сои для инактивации антипитательных веществ. Выяснено, что при температуре 135-140°С имеется возможность получать готовый продукт с нормативными параметрами по уреазе в пределах 0,2-0,25ΔpH, а более жёсткий режим обработки при 150-160°С позволяет снижать уреазу до 0,05-0,06 ΔpH, но это ухудшает качество белка и его усвояемость.

Согласно методикам, выполнен целый перечень работ по подготовке продуктов для использования в составе белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК) и престартерного гранулированного комбикорма.

Все работы проведены в лабораторных и производственных условиях и были использованы современные методы исследований: лабораторно-аналитические, физиологические, биохимические, микробиологические, зоотехнические и, экономические.

Качественный состав и оптимизация рецептов БВМК, комбикормов, адресных концентратов и премиксов для кормления подопытного поголовья. был рассчитан с помощью компьютерной программы «Корм-Оптима».

Перед скармливанием высокобелковых кормовых культур из бобовых растений и для улучшения питательной ценности использовалась разная технологическая обработка используемых компонентов.

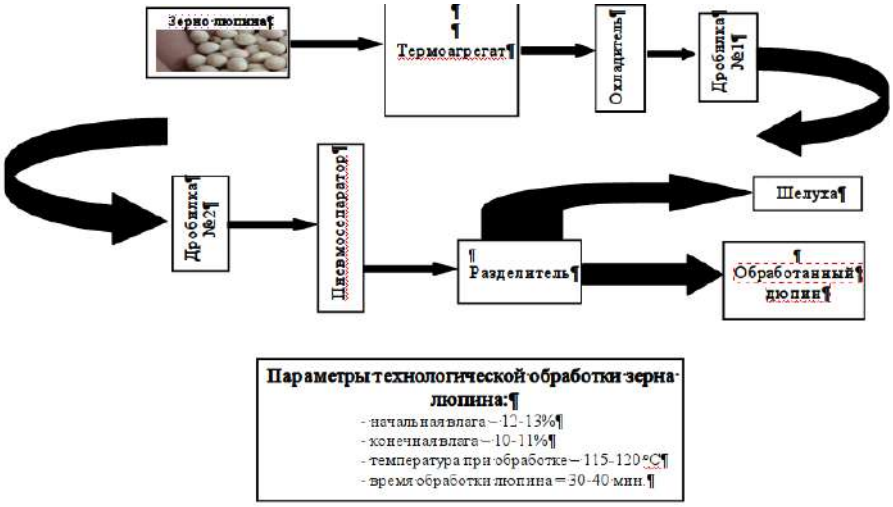


Рисунок 1– Схема технологической обработки бобов люпина

Проведена также термогидролитическая обработка белого люпина сорт «Дега» по технологии «Термобоб», суть которой заключается в постепенном прогреве бобов на специальной установке с 8 до 115-120°С в течение 40 мин., потом дроблении люпина, сепарации (отсев шелухи), увлажнении и кондиционировании готового продукта.

Примерная схема технологической обработки бобов люпина схематично изображена на рисунке 1, а на выходе получается высококачественный белковый корм.

Дальнейшая технология производства белкового концентрата и гранулированного комбикорма поросятам раннего отъема складывалась подготовкой концентрированных зерновых кормов и

улучшение их усвояемости методом экструзии, с добавлением определенного количества воды и обработка этих компонентов при соответствующей температуре.

После таких технологических операций общий вид престартерного гранулированного комбикорма для поросят-сосунов представлен на фото (рисунок 2).

Рисунок 2 – Выходная продукция опытного гранулированного комбикорма

Исходя из этого, нами был разработан рецепт высокобелкового концентрата БВМК из собственных кормов местного кормопроизводства и покупных биологически активных добавок (таблица 1).

Таблица 1 – Состав белково-витаминно-минерального концентрата (БВМК) для поросят раннего отъема

№ п/п	Состав	В рецепте, %
1	Соя полножирная экструдированная	30,00
2	Люпин гидро-термо-обработанный	10,00
3	Зерно льна экструдированное	4,00
4	Кукурузный глютен - СП 62%	9,00
5	Сыворотка молочная сухая	13,00
6	Мука рыбная - СП 61%	15,00
7	Декстроза	4,00
8	Монохлоргидрат лизина 98%	3,20
9	DL-Метионин -98,5%	1,30
10	L – Треонин – 98 %	1,90
11	L-Триптофан - 98,0%	0,30
12	Известняковая мука	3,07
13	Соль поваренная	0,30
14	Асид-Лак	2,00
15	Клостат	0,20
16	Натузим	0,20
17	Лисофорт экстенд	0,20
18	Витамин С	0,08
19	Ароматизатор	0,20
20	Эндокс (антиоксидант)	0,05
21	Panto Mixe 3520 (премикс)	2,00
Итого, %:		100,00

В рецепте опытного концентрата, в отличие от импортного аналога, есть новые компоненты: люпин, зерно льна, декстроза – углевод с высокой усвояемостью, лисофорт (эмульгатор жиров), а качественная характеристика обогатительных концентратов – отечественного (БВМК) и импортного (БВМК-25) представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная оценка и характеристика и опытного престартерного комбикорма БВМК и импортного БВМК- 25

Компоненты	Ед. измер.	Импортный (контрольный)	Опытный
Обменная энергия	МДж/кг	13,40	14,30
Сырой протеин	%	38,00	35,35
Сырой жир	%	4,00	8,81
Линоленовая кислота	%	-	0,91
Линолевая кислота	%	-	3,03
Сырая клетчатка	%	3,75	4,21
Лизин	%	4,20	4,19
Метионин + цистин	%	2,00	2,31
Треонин	%	2,10	3,06
Триптофан	%	0,60	0,58
Ca	%	2,70	2,46
P	%	1,30	1,43
NaCl	%	0,70	0.91
Витамин А	МЕ	72 000	80 000
Витамин Д	МЕ	8 000	8 000,00
Витамин Е	мг	800	425,54
Витамин B_1	мг	16,00	16,69
Витамин B_2	мг	48,00	28,67
Витамин B_3	мг	240,00	129,37
Витамин B_4	мг	1 800	2 260,48
Витамин B_5	мг	80,00	98,04
Витамин B_6	мг	-	18,19
Витамин B_9	мг	8,00	4,00
Витамин B_{12}	мкг	240,00	203,75
Витамин B_c	мг	8,00	-
Витамин Н	мг	1 060,00	532,00
Витамин С	мг	-	792,00
Fe	мг	600,00	666,00
Cu	мг	600,00	611,00
Zn	мг	960,00	631,00
Mn	мг	400,00	386,00
Co	мг	-	3,13
J	мг	8,00	8,00
Se	мг	2,00	2,04

Сравнительный анализ показал, что наш - отечественный образец по качественным характеристикам нисколько не уступает импортному аналогу - БВМК-25 фирмы «ХЛ» (Германия).

С использованием БВМК был создан рецепт полноценного отечественного престартерного гранулированного комбикорма в состав, которого входили: ячмень, кукурура и пшеница экструдированные, БВМК, Кормилак -112, Био-Мос, Токсфин и Микосорб.

Согласно методике, было использовано 2 производственные секции для опороса, в одной из которых контрольная группа поросят получала импортный гранулированный комбикорм - БВМК-25, а II - опытной группе скармливали полнорационный гранулированный комбикорм с отечественным концентратом - БВМК.

Содержание животных и подкормка поросят в подсосном периоде была по принятой в хозяйстве технологии, приучение поросят к потреблению комбикормов начинали с 5-дневного возраста, а отъём поросят от маток проводили в 24-дневном возрасте.

В ходе опыта не было установлено больших различий влияния престартерных комбикормов на физиологическое состояние, обмен веществ и иммунный статус молодняка свиней.

Анализ биохимических и гематологических показателей крови у поросят показал, что обмен веществ находился и протекал на достаточно высоком уровне, а изучаемые показатели были в пределах физиологической нормы. Все внутренние показатели не выходили за допустимые параметры, присущие поросятам подсосного периода с высоким потенциалом продуктивности.

Оптимальные условия содержания и сбалансированное кормление поголовья обеспечили высокий выход деловых поросят при отъёме (таблица 3).

Таблица 3 – Продуктивность поросят при скармливании престартерного полноценного гранулированного комбикорма

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Поставлено свиноматок на опорос, гол.	36	32
Получено живых поросят, гол.	519	447
Многоплодие, гол.	14,42±0,23	13,97±0,23
Средняя живая масса поросят при рождении, кг	1,26±0,02	1,25±0,03
Выбраковано, гол.	45	40
Отход молодняка, гол.	15	12
Отнято всего поросят, гол.	459	395
Количество поросят в гнезде, гол.	12,75±0,18	12,34±0,22
Средняя живая масса поросят при отъёме в 24 дня, кг	7,36±0,30	7,33±0,25
Среднесуточный прирост живой массы, г	254±12	253±9
Передано деловых поросят на доращивание, в %	88,40	88,40

Анализ таблицы 3 свидетельствует, что исследования сделаны на большом поголовье животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности, где многоплодие свиноматок составило по группам 13,97-14,42 поросёнка и имела незначительные колебания по крупноплодности.

Нормальные условия содержания при полном Уравновешенном кормлении поголовья обеспечило и высокий выход деловых поросят при отъёме, а их количество в гнезде соответствовало 12,75 головам - в контрольной группе и 12,34 поросятам в - опытной.

Следует также отметить, что средняя живая масса поросят в опытной и контрольной группах при отъёме поросят в 24 дня была практически одинаковая - 7,33-7,36 кг при достаточно высоких на этот период выращивания среднесуточных приростах – 253-254 г (диаграмма 1).

Это говорит о том, что опытный престартерный комбикорм с отечественным белковым концентратом – БВМК по продуктивному действию не уступал полнорационному гранулированнрму комбикорму с импортной обогатительной добавкой БВМК-25 фирмы HL Hamburger Leistungsfutter.

Исходя из этого видно, что возрастные изменения живой массы и среднесуточные приросты поросят, отнятых от свиноматок в теже самые сроки и за время всего опытного периода, принципиально не отличались как при рождении, так и при отъеме.

Важным звеном при проведении исследований по прямым затратам рассчитана стоимость опытных - БВМК и престартерного комбикорма.

Расчетные данные указали на то, что импортная обогатительная добавка для комбикормов (БВМК-25) по стоимости стала дороже опытного образца (БВМК) - на 35,99 %, а производство комбикормов с отечественной кормовой добавкой оказалась дешевле - на 29,76 %.

Рисунок 3 – Некоторые показатели продуктивности поросят в 24 дня

Выводы. Из этого следует, что использование наших разработок для роста производства свиноводческой продукции в Центральной черноземной зоне в целом по стране решает проблему импортозамещения и удешевление свиноводческой продукции от использования дорогостоящих кормовых концентратов иностранного производства.

Список литературы

1. Лавреньтьев А.Ю. Мясные качества молодняка свиней при использовании в рационах ферментных препаратов //Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. Международ. науч.-практ. конф. – Саратов. – 2015. – С. 331. -336.

2. Шулаев Г.М., Бетин А.Н., Энговатов В.Ф. Отечественные ферментные препараты в комбикормах для свиней // Комбикорма. – 2011. - №2. – С. 87 – 88.

3. Баранников В.А. Влияние биологических добавок на резистентность, обмен веществ и продуктивность свиней // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 413-424.

4. Ильин С. В. Влияние кормов разной физической формы на рост молодняка свиней на доращивание и откорме // Вестник Ижевской ГСХА. – 2017. – №4. – С. 25-33.

5. Красновская Е. Владеть информацией – двигаться вперед // Свиноводство. – 2018. – № 1. – С. 5-13.

6. Хаутов Д., Ковалев Ю. Свиноводство показало устойчивый рост // Животноводство России. – 2017. – № 2. – С. 22-24.

7. Щербакова О. Особенности экструдирования зерна при вводе в корма для поросят // Комбикорма. – 2012. – №8. – С. 57-59.

8. Kiarie, E.G., Mills A. Role of Feed Processing on Gut Health and Function in Pigs and Poultry: Conundrum of Optimal Particle Size and Hydrothermal Regimens / E. G., Kiarie, A. Mills // Frontiers in Veterinary Science. - 2019. – V. 6. – Pp. 1-13.

References

1. Lavren't'ev A.YU. Myasnye kachestva molodnyaka svinej pri ispol'zovanii v racionah fermentnyh preparatov //Sovremennye sposoby povysheniya produktivnyh kachestv sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh,

pticy i ryby v svete importozameshcheniya i obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti strany: mater. Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. – Saratov. – 2015. – S. 331. -336.

2. SHulaev G.M., Betin A.N., Engovatov V.F. Otechestvennye fermentnye preparaty v kombikormah dlya svinej // Kombikorma. – 2011. - №2. – S. 87 – 88.

3. Barannikov V.A. Vliyanie biologicheskih dobavok na rezistentnost', obmen veshchestv i produktivnost' svinej // Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 121. – S. 413-424.

4. Il'in C. B. Vliyanie kormov raznoj fizicheskoj formy na rost molodnyaka svinej na dorashchivanie i otkorme // Vestnik Izhevskoj GSKHA. – 2017. – №4. – S. 25-33.

5. Krasnovskaya E. Vladet' informaciej – dvigat'sya vpered // Svinovodstvo. – 2018. – № 1. – S. 5-13.

6. Hautov D., Kovalev YU. Svinovodstvo pokazalo ustojchivyj rost // ZHivotnovodstvo Rossii. – 2017. – № 2. – S. 22-24.

7. SHCHerbakova O. Osobennosti ekstrudirovaniya zerna pri vvode v korma dlya porosyat // Kombikorma. – 2012. – №8. – S. 57-59.

8. Kiarie, E.G., Mills A. Role of Feed Processing on Gut Health and Function in Pigs and Poultry: Conundrum of Optimal Particle Size and Hydrothermal Regimens / E. G., Kiarie, A. Mills // Frontiers in Veterinary Science. - 2019. – V. 6. – Pp. 1-13.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Энговатов Дмитрий Вячеславович – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», аспирант ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Россия, г. Тамбов, e-mail: dmit.83@mail.ru.

Гаглоев Александр Черменович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Россия, г. Мичуринск, e-mail: adik.gagloev@yandex.ru

Энговатов Вячеслав Федорович - доктор сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: leoh55@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Engovatov Dmitry – Junior Researcher, FSBSI "All-Russian Research Institute for the Use of Technology and Oil Products in Agriculture", postgraduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Tambov, e-mail: dmit.83@mail.ru.

Gagloev Alexander Chermenovich – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: adik.gagloev@yandex.ru

Vyacheslav Fedorovich Engovatov-Doctor of Agricultural Sciences, FSBSI "All-Russian Research Institute for the Use of Technology and Oil Products in Agriculture", Tambov, Russia, e-mail: leoh55@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 01.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 18.10.2021

УДК 621.43
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-66-72

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТДАЧИ ЭЛЕМЕНТОВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Парлюк Екатерина Петровна
[1]Пуляев Николай Николаевич
[1]Дидманидзе Отари Назирович
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Реферат. Разрабатывали научно-методический подход для многокритериальной оценки срока эксплуатации автотракторной техники с целью повышение эффективности ее работы и безопасности. Использовали теоретико-методологические и научно- методические методы исследования. Рассматривали математическую модель многокритериальной структуры показателей качества работы автотракторной техники с учетом среды и срока ее эксплуатации. Применяя данный подход, разработан алгоритм получения оптимального варианта решения с использованием метода районирования с соблюдением иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды. В связи с успешной разработкой конструкций радиаторов представляется весьма актуальной задача выбора наиболее выгодной геометрической характеристики их поверхности охлаждения. Необходимым условием для этого является получение теоретических зависимостей тепловых и аэродинамических качеств радиатора от геометрических характеристик его поверхности охлаждения. Значение таких закономерностей является необходимым для проектирования любых типов теплообменников. На основе комплекса многокритериального анализа определения эффективности теплоотдачи элементов охлаждающей системы автотракторной техники, возможно сформулировать алгоритм выбора оптимального варианта искомого решения, реализуемый при методе районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды. Равномерность распределения вдоль теплообменной поверхности является одним из основных качественных показателей теплоносителя, которое имеет прямое влияние на аэродинамические и тепловые характеристики теплообменника.

Ключевые слова: теплообменник, радиатор, система охлаждения, многокритериальный анализ.

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT TRANSFER OF ELEMENTS OF THE COOLING SYSTEM OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

[1]Parlyuk Ekaterina
[1]Pulyaev Nikolay
[1]Didmanidze Otari
[1]Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Abstract. *A scientific and methodological approach was developed for a multi-criteria assessment of the service life of automotive vehicles in order to increase the efficiency of its operation and safety. Theoretical-methodological and scientific-methodological research methods used. The mathematical model of the multicriteria structure of the quality indicators of the work of automotive vehicles, taking into account the environment and the period of its operation, was considered. Applying this approach, an algorithm for obtaining the optimal solution was developed using the zoning method in compliance with the hierarchical ratio of the probabilities of possible states of the external environment.In connection with the successful development of radiator designs, the task of choosing the most advantageous geometric characteristics of their cooling surface seems to be very urgent. A necessary condition for this is to obtain theoretical dependences of the thermal and aerodynamic qualities of the radiator on the geometric characteristics of its cooling surface. The significance of such patterns is necessary for the design of any types of heat exchangers. Based on a complex of multi-criteria analysis of determining the*

efficiency of heat transfer of elements of the cooling system of automotive equipment, it is possible to formulate an algorithm for choosing the optimal variant of the desired solution, implemented with the zoning method based on the principle of compliance with the hierarchical ratio of probabilities of possible environmental conditions. The uniformity of distribution along the heat exchange surface is one of the main qualitative indicators of the coolant, which has a direct impact on the aerodynamic and thermal characteristics of the heat exchanger.

Keywords: heat exchanger, radiator, cooling system, multi-criteria analysis.

Введение. При решении любой задачи оптимизации принимаемого решения отталкиваются от трех основных понятий (таблица 1).

Таблица 1 – Основные понятия для решения задач оптимизации

Понятия	Обозначения
множество видов критериев (состояний внешней среды)	n
множество возможных решений (действий)	m
эффективность любого решения при каждом виде обстановки	а

Тогда имеем : a_{ij}– эффективность i-го действия для j-го состояния среды эксплуатации автотракторной техники, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

Матрица эффективностей различных действий при различных вариантах решения имеет вид:

$$\left\|a_{ij}\right\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для выбора оптимального действия, используя теорему Байеса, принимается обращение $\overline{a}_{jn}$ в максимум или минимум с.

Сформулированы основные положения решения данной задачи на основе метода районирования - разбиения всего множества возможных состояний «природы факторов» на подмножества доминирования отдельных действий (районы) (таблица 2).

Таблица 2 – Основные положения решения задачи

№ п/п	Положения
1	Необходимо выбрать способ районирования, представляющего собой обратную параметрическую задачу линейного программирования
2	При решении задач с «природой факторов» (матричных игр) принимается условие непрерывности функции показателей эффективности от изменения вектора состояния природы. предлагается использовать методы векторной оптимизации. Для решения многокритериальных задач во многих случаях можно использовать аппарат теории игр с «природой».
3	Вероятности состояний природы факторов (критериев) p_j по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности критериев c_j, т. е. $p_j \equiv c_j$
4	Районирование целесообразно производить не по принципу доминирования отдельных действий, а по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний «природы».

Тогда коэффициенты относительной важности для определённых критериев эффективности должны определяться совокупностью $(n-1)$ независимых величин:

$$0 \le c_j \le 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^{n} c_j = 1, \quad (2)$$

Поле в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в пространстве $(n-1)$ измерений $\sum_{j=1}^{n-1} c_j$ подходит для описания множества распределений. Его можно получить в декартовой системе координат $c_1, c_2 \dots, c_{n-1}$ при пересечении положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из координатных осей единичный отрезок.

Возьмем следующую последовательность коэффициентов относительной важности:

$$c_1 \geq c_2 \geq \cdots \geq c_i \geq \cdots \geq c_{n-1} \geq c_n \quad (3)$$

Общее количество последовательностей такого типа для распределений системы (2) определяется количеством перестановок $(n!)$.

Решая задачу эффективности работы автотракторной техники, составим согласно, выше указанной теории, матрицу эффективностей различных действий при различных вариантах решения из уравнения (1).

Рассмотрим на основе метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды (критериев) решение задачи с основными параметрами эффективности работы системы охлаждения функциональных агрегатов автотракторной техники как основы, на конкретном примере радиаторов системы охлаждения трактора МТЗ-80

Результаты и обсуждение. Начинаем решение задачи методом многокритериального анализа с выбора критериев и внешних условий незамкнутой системы. Критерии выбираем на основе теплотехнических показателей (Q, $\Delta P2$, q) радиаторов из блочно-модульной охлаждающей системы, изготовленных из различных конструктивных материалов (алюминия, медного сплава и полиуретана). Критерий $K1 = Q$ – критерий по теплоотдачи (Вт/К), $K2 = \Delta P2$ – критерий по аэродинамическому сопротивлению (Па). Внешним условием для всех исследуемых радиаторов является расход воздуха, который изменяется с 2008,86 до 5014,69кг/ч.

Медно-латунный радиатор 70У.1301.010 (образец № 1), системы охлаждения двигателя автотракторной техники с плоскоовальными трубками по фронту радиатора и пластинчатым оребрением паяной конструкции производства ООО «Оренбургский радиатор».

Результаты испытаний приведены в таблицах 3 – 9.

Таблица 3 – Результаты испытаний радиатора 70У.1301.010 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	***K*1 - Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К**
2008,86	279,21
2984,91	363,07
4006,62	438,04
5014,69	507,8

Таблица 4 – Результаты испытаний радиатора 70У.1301.010 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	***K*2 - аэродинамическое сопротивление, Па**
2008,86	10,3
2984,91	23,57
4006,62	39,03
5014,69	60,87

Алюминиевый радиатор LRc 0680 (образец № 2), системы охлаждения двигателя автомобиля с плоскоовальными трубками по фронту радиатора и пластинчатым оребрением паяной конструкции производства ООО «Торговый Дом Лузар»

Радиатор МТЗ-80 на основе полиуретановой сердцевины (образец № 3), полиуретановый, системы охлаждения двигателя автотракторной техники с полиуретановыми трубками по фронту радиатора и без оребрения производства ОНИЛТА им. В. В. Буркова ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Таблица 5 – Результаты испытаний радиатора LRc 0680 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	***K*1 – Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К**
2033,89	316,68
2996,2	397,72
4001,72	469,54
4972,55	541,17

Таблица 6 – Результаты испытаний радиатора LRc 0680 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	***K*2 – Аэродинамическое сопротивление, Па**
2033,89	9,47
2996,2	18,53
4001,72	30,52
4972,55	46,39

Таблица 7 – Результаты испытаний радиатора МТЗ-80 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	***K*1 - Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К**
2000,79	186,38
2988,72	267,87
4024,71	353,86
4988,63	457,85

Таблица 8 – Результаты испытаний радиатора МТЗ-80 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	***K*2 - Аэродинамическое сопротивление, Па**
2000,79	16,28
2988,72	35,89
4024,71	67,89
4988,63	120,42

Сформируем матрицу эффективности (таблица 9).

Таблица 9 – Матрица эффективности

№	***K*1**	***K*2**	**Эффективность при *K*1 > *K*2**
1	279,21	10,3	0,36
2	**316,68**	**9,47**	**0,41**
3	186,38	16,28	0,24
	max	min	

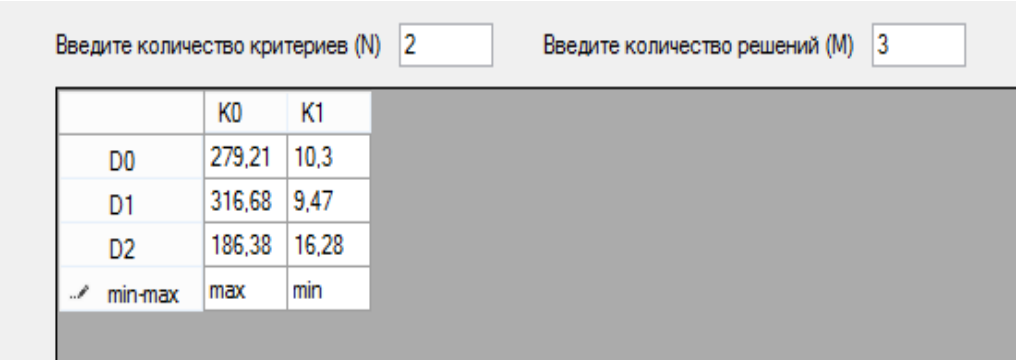
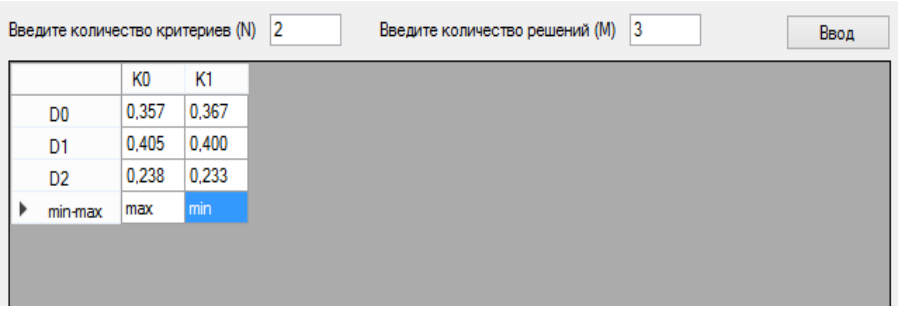


Рисунок 1 – Интерфейс матрицы эффективностей

Следует иметь в виду возможную различную размерность показателей и возможную несопоставимость их по абсолютному значению величины, поэтому возникает необходимость представления показателей в относительных единицах. Необходимо также учитывать стремление к максимуму или к минимуму части показателей (рисунок 2).

Учитывая сказанное выше, представляем новую матрицу эффективности с элементами δ_{ij} (численные значения показателей), выраженными в относительных единицах, с использованием формулы (4):

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \dfrac{a_{ij}}{max_{1 \ll i \ll m}\, a_{ij}}, & \text{если } i - \text{й показатель максимизируется,} \\ \dfrac{\min_{1 \ll i \ll m} a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{если } i - \text{й показатель минимизируется.} \end{cases} \quad (4)$$



	K0	K1
D0	0,357	0,367
D1	0,405	0,400
D2	0,238	0,233
min-max	max	min

Рисунок 2 – Численные значения показателей матрицы, представленные в относительных единицах

Заключение. Таким образом, алгоритм для выбора оптимального варианта искомого решения (D_i) при реализации его в методе районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды следующий:

1. Получение последовательности (3) по относительной важности показателей C_j;
2. Решение задачи линейного программирования для каждого сравниваемого варианта i:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^{n} \delta_{ij} c_j \to max, \\ \sum_{j=1}^{n} c_j = 1,\ 0 \le c_j \le 1, c_j \ge c_{j+1}, j = \overline{1, n-1}. \end{cases} \quad (5),$$

что позволяет получение ряда аналитических решений, например:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, \text{если } j \le k, \\ 0, \text{если } j > k, \end{cases} \quad (6)$$

По проведенному анализу областей устойчивости решений выбрано следующее аналитическое выражение для повышения чувствительности к параметрам оптимизации:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, \text{если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, \text{если } j < k, \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, \text{если } j > k \end{cases} \quad \text{где } \lambda = \frac{n-1}{n}. \quad (7)$$

где в обоих случаях индекс k определяется из условия $a_{kj} = \max_j a_{ij}$.

3. Определяется оптимальный вариант по нескольким критериям варианта f из соотношения (рисунок 3):

$$d_f = \max_{1 \le i \le m} d_i \quad (8)$$

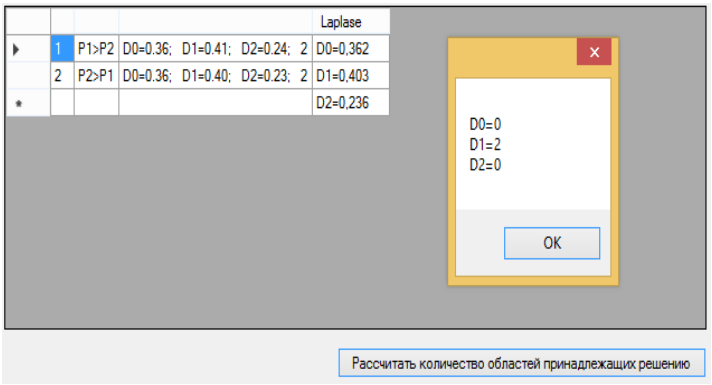


Рисунок 3 – Определение оптимального варианта

По аналогии можно рассчитать эффективность в любой системе, состоящий из неограниченного количества ряда входов (варианты выбора) и неограниченного количества критериев.

Список литературы

1. Арифуллин И. В., Терентьев А. В. Общая методика планирования многофакторного анализа при решении технологических задач авторемонтного производства // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 11. – С. 63-66. – DOI 10.36535/0236-1914-2019-11-12.

2. Арифуллин И. В., Терентьев А. В., Таланова И. Н. Многокритериальная аналитическая модель определения срока эксплуатации автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 4(59). – С. 3-8.

3. Обоснование расчёта автотракторного радиатора системы охлаждения с использованием полимерных материалов / О. Н. Дидманидзе, С. М. Гайдар, Е. П. Парлюк, Н. А. Большаков // Чтения академика В. Н. Болтинского: семинар, Москва, 20–21 января 2021 года. – Москва: ООО "Сам Полиграфист", 2021. – С. 44-50.

4. Парлюк Е. П. Оценка снижение эффективности работы теплообменников, функционирующих в составе блочных систем охлаждения // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 194-197.

5. Дидманидзе О. Н., Большаков Н. А., Хакимов Р. Т. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей путем совершенствования охлаждающих систем // Автотранспортная техника XXI века: сборник статей III Международной научно-практической конференции, Москва, 29 октября 2018 года / Под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зимина, Д.В. Виноградова. – Москва: ООО "Мегаполис", 2018. – С. 29-45.

6. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Анализ методов определения показателя – срок эффективной эксплуатации автомобиля // Материалы 1-й Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. – СПб: НМСУ «Горный», 2013 – С. 68–72.

7. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений. – М.: МАКС Пресс. – 2008. – 197 с.

8. Петриченко Г. С., Петриченко В. Г. Оценка эффективности программного обеспечения [Электронный ресурс] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2016. – № 9 (230). – Режим доступа: URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnostiprogrammnogo-obespecheniya.

References

Arifullin I. V., Terent'ev A. V. Obshchaya metodika planirovaniya mnogofaktornogo analiza pri reshenii tekhnologicheskih zadach avtoremontnogo proizvodstva // Transport: nauka, tekhnika,

upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik. – 2019. – № 11. – S. 63-66. – DOI 10.36535/0236-1914-2019-11-12.

2. Arifullin I. V., Terent'ev A. V., Talanova I. N. Mnogokriterial'naya analiticheskaya model' opredeleniya sroka ekspluatacii avtomobilya // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). – 2019. – № 4(59). – S. 3-8.

3. Obosnovanie raschyota avtotraktornogo radiatora sistemy ohlazhdeniya s ispol'zovaniem polimernyh materialov / O. N. Didmanidze, S. M. Gajdar, E. P. Parlyuk, N. A. Bol'shakov // CHteniya akademika V. N. Boltinskogo : seminar, Moskva, 20–21 yanvarya 2021 goda. – Moskva: OOO "Sam Poligrafist", 2021. – S. 44-50.

4. Parlyuk E. P. Ocenka snizhenie effektivnosti raboty teploobmennikov, funkcioniruyushchih v sostave blochnyh sistem ohlazhdeniya // Doklady TSKHA, Moskva, 02–04 dekabrya 2020 goda. – Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2021. – S. 194-197.

5. Didmanidze O. N., Bol'shakov N. A., Hakimov R. T. Uluchshenie ekspluatacionnyh pokazatelej avtomobilej putem sovershenstvovaniya ohlazhdayushchih sistem // Avtotransportnaya tekhnika XXI veka: sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 29 oktyabrya 2018 goda / Pod redakciej O.N. Didmanidze, N.E. Zimina, D.V. Vinogradova. – Moskva: OOO "Megapolis", 2018. – S. 29-45.

6. Terent'ev A.V., Prudovskij B.D. Analiz metodov opredeleniya pokazatelya – srok effektivnoj ekspluatacii avtomobilya // Materialy 1-j Regional'noj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Innovacionnye sistemy planirovaniya i upravleniya na transporte i v mashinostroenii. – SPb: NMSU «Gornyj», 2013 – S. 68–72.

7. Lotov A. V., Pospelova I. I. Mnogokriterial'nye zadachi prinyatiya reshenij. – M.: MAKS Press. – 2008. – 197 s.

8. Petrichenko G. S., Petrichenko V. G. Ocenka effektivnosti programmnogo obespecheniya [Elektronnyj resurs] // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. – 2016. – № 9 (230). – Rezhim dostupa: URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnostiprogrammnogo-obespecheniya.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации.

Парлюк Екатерина Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Пуляев Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: inpo.msau@gmail.com.

Дидманидзе Отари Назирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

Author credentials

Affiliations

Parlyuk Ekaterina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Pulyaev Nikolay – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: inpo.msau@gmail.com.

Didmanidze Otary – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.08.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2021

УДК 656.11
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-73-79

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЖИДКОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОХЛАДИТЕЛЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Парлюк Екатерина Петровна
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Реферат. *Перспективными теплоносителями являются наножидкости, их использование способствует снижению металлоемкости агрегатов, повышению безопасности использования в аварийных переходных режимах, сопровождающихся кипением. Рассмотрены возможности, особенности и перспективы использования в качестве охлаждающих жидкостей автотракторной техники инновационных теплоносителей, которые позволят преодолеть порог неэффективности смесей воды и этиленгликоля, заключающийся в низкой теплопроводности. В качестве инновационных теплоносителей предлагается использовать наножидкости, состоящие из базовой жидкости (вода, этиленгликоль, машинное масло) и наночастиц высокотеплопроводного материала. Анализ полученных значений теплопроводности для наночастиц окиси алюминия, меди, карбамида кремния, золота, меди показывает преимущества последних. Если добавить 2 % (объемных) наночастиц меди в охлаждающую жидкость, то увеличение теплопередачи составит от 42,7 до 45,2 % и даст возможность уменьшить размер радиатора на ~ 18,7 %, но нагрузка перекачки при этом увеличится на 12,13 % Теплопроводность углеродных нанотрубок существенно выше, чем у металлов, и базовой жидкости, что может привести к значительным изменениям теплофизических свойств наножидкостей и усилению теплообменных процессов. Наножидкости могут заменить традиционные смеси охлаждающих жидкостей.*

Ключевые слова: *наножидкость, наночастицы, охлаждающая жидкость, системы охлаждения.*

APPLICATION OF NANOFLUIDS AS A COOLANT IN COOLERS FUNCTIONAL UNITS OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

[1]Parlyuk Ekaterina
[1]Russian Timiryazev State Agrarian University

Abstract. *Nanofluids are promising coolants, their use contributes to a decrease in the metal consumption of units, an increase in the safety of use in emergency transient modes accompanied by boiling. Opportunities, features and prospects for the use of innovative coolants as cooling liquids for automotive vehicles, which will allow to overcome the threshold of inefficiency of mixtures of water and ethylene glycol, which consists in low thermal conductivity are considered. Nanofluids consisting of a base fluid (water, ethylene glycol, machine oil) and nanoparticles of a highly thermally conductive material are proposed to be used as innovative heat transfer fluids. Analysis of the obtained values of thermal conductivity for nanoparticles of aluminum oxide, copper, silicon carbamide, gold, copper shows the advantages of the latter. If you add 2% (volumetric) copper nanoparticles to the coolant, then the increase in heat transfer will be from 42.7 to 45.2% and will make it possible reduce the size of the radiator by ~ 18.7%, but the pumping load will increase by 12.13%. The thermal conductivity of carbon nanotubes is significantly higher than that of metals and the base liquid, which can lead to significant changes in the thermophysical properties of nanofluids and enhancement of heat exchange processes in them. Nanofluids can replace traditional coolant mixtures.*

Keywords: *nanofluid, nanoparticles, coolant, cooling systems.*

Введение. Охлаждающая жидкость – один из важнейших компонентов высокопроизводительной системы охлаждения. Его никогда не следует игнорировать, потому что

он передает тепло от двигателя к радиатору, защищает двигатель и систему охлаждения от ржавчины и коррозии, предотвращает замерзание системы в холодном климате. Большинство автомобильных двигателей удаляют излишки тепла за счет водяного охлаждения. Однако термин вода означает «антифриз» и «охлаждающую жидкость на водной основе», а не только воду. В автомобильной промышленности используется термин «охлаждающая жидкость двигателя», который охватывает функцию теплопередачи первичной конвекцией в двигателях внутреннего сгорания.

Непрерывное технологическое развитие и социальные изменения в автомобильной промышленности увеличили спрос на высокоэффективные двигатели. Помимо высокой производительности для них важными факторами являются экономия топлива, более низкие выбросы, снижение веса для повышения производительности автомобиля. Одним из оптимизируемых параметров является радиатор. Чтобы повысить эффективность радиатора, количество ребер значительно увеличивают, что повышает площадь охлаждающей поверхности. Эти модификации (увеличение ребер и использование микроканалов) могут увеличить скорость охлаждения. В настоящее время разработка достигла своих обозримых пределов в повышении эффективности радиаторов. После структурных изменений следующая возможность развития — это сама охлаждающая жидкость. Используемые сегодня охлаждающие жидкости на основе воды и этиленгликоля имеют относительно низкую теплопроводность. Единственный способ преодолеть этот порог неэффективности – это использовать инновационные теплоносители в автомобильных радиаторах, в частности «наножидкости».

Сегодня интерес к получению наножидкостей (термин появился в 1995 году [1]) для охлаждающих систем и исследованию их свойств наблюдается во многих странах, о чем можно судить по экспоненциальному росту числа публикаций, посвященных этому вопросу [1-14].

Под «наножидкостью» понимают базовую жидкость с равномерно распределенными в ней твердыми наночастицами какого-либо высокотеплопроводного материала. В отличии от частиц более крупного размера, наночастицы медленнее оседают и поэтому не должны приводить к засорению системы охлаждения. Известны два способа получения наножидкостей: 1 – получение наночастиц и распределение их в жидкости химическими методами или методами испарения в жидкости; 2 - первоначальное получение различными методами наночастиц с последующим диспергированием их в несущей жидкости при помощи ультразвука или магнитного поля. Второй способ легче реализуется в промышленных масштабах, поэтому вызывает больший интерес.

Идея использования наножидкостей в охлаждающих системах состоит в гипотезе об изменении теплофизических свойств материала при смешении металлических и неметаллических материалов с высокой теплопроводностью с базовой теплопроводящей жидкостью с более низкими показателями [11]. К сожалению, часто экспериментально полученные теплофизические характеристики наножидкостей имеют противоречивый характер. Много трудностей возникает при их теоретическом описании. Возможно, это связано с сложностью протекающих процессов в наножидкостях и отсутствием в настоящее время приемлемой теории, предсказывающей изменения теплофизических характеристик наножидкостей.

В данной работе предлагается модифицировать охлаждающие жидкости введением в них наночастиц меди.

Результаты и обсуждение. В качестве базовой жидкости возможно использование воды, этиленгликоля, машинного масла. Все эти жидкости обладают низкой теплопроводностью (таблица 1), причем наименьшее значение наблюдается у машинного масла (0,145 Вт/м·К). Для получения наножидкостей используют наночастицы металлов и их оксидов, а также углеродных нанотрубок (одно-, двух- или многостеночных с различным соотношением длины трубки к ее диаметру). Наночастицы обладают таким уникальным свойством, как большое отношение площади поверхности к объему и имеют размеры от 1 до 100 нм. Металлическая медь обладает теплопроводностью в 10 раз превышающей теплопроводность ее оксида. Для наночастиц меди характерна сильная каталитическая активность из-за поверхностного эффекта, вызванного малыми размерами и большой пористостью. Такие свойства способствуют более высокому выходу реакции и сокращению времени ее протекания при использовании в качестве реагентов в органическом и металлоорганическом синтезе.

Данные, приведенные в таблице 1 показывают существенное превосходство углеродных нанотрубок по теплопроводности относительно металлов, их оксидов и базовой жидкости. Можно ожидать, что их введение в базовую жидкость приведет к значительным изменениям теплофизических свойств и усилению теплообменных процессов.

Таблица 1 – Теплопроводность наножидкостей

№ п/п	Название материала	Теплопроводность k, Вт/м·К
1	Глинозем (окись алюминия, Al_2O_3)	20
2	Медь (Cu)	401
3	Оксид меди(II) (CuO)	40
4	Золото (Au)	317
5	Карбид кремния (SiC)	120
6	Углеродные нанотрубки	3000
7	Вода	0,550
8	Этиленгликоль	0,253
9	Масло машинное	0,145

Наножидкость может быть использована с хорошей эффективностью при смешивании с наночастицами этиленгликоля и меди. В таких случаях важно исследовать влияние объемной доли наночастиц меди и базовой жидкости на тепловые характеристики или уменьшить размер радиатора. Наночастицы меди имеют лучшую теплопроводность, чем другие наночастицы (например, оксид алюминия).

Теплофизические свойства материала характеризуются двумя важными характеристиками: коэффициентом теплоотдачи, числом Нуссельда и критерием Прандтля (таблица 2).

Таблица 2 – Теплофизические характеристики материала

Характеристика	Формула
Коэффициентом теплоотдачи	$a = \frac{Nu \cdot \gamma}{d}$, где Nu – число Нуссельта; γ – коэффициент теплопроводности жидкости при средней температуре, Вт/(м·град); d – эквивалентный диаметр $d = \frac{4S}{P}$ S – площадь сечения канала, м^2; P – периметр канала, м.
Число Нуссельта характеризует интенсивность теплообмена на границе «твердое тело-жидкость».	$N_u = \frac{aL}{\gamma_{ср}}$, где α – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности размером L (обычно за определяющий выбирается тот размер, в направлении которого происходит движение основного потока жидкой или газообразной среды); $\gamma_{ср}$ – коэффициент теплопроводности омывающей среды.
Критерий Прандтля, содержащий только физические параметры жидкости. характеризует влияние теплофизических свойств среды на конвективный теплообмен и является мерой подобия полей температур и скоростей.	$P_r = \frac{\omega}{\tau_{ср}}$ ω – кинематическая вязкость среды; $\tau_{ср}$ – коэффициент температуропроводности среды.

На рисунке 1 хорошо показан эффект от добавления наночастиц в охлаждающие жидкости. Уменьшение можно наблюдать для чисел Нуссельта и Прандтля.

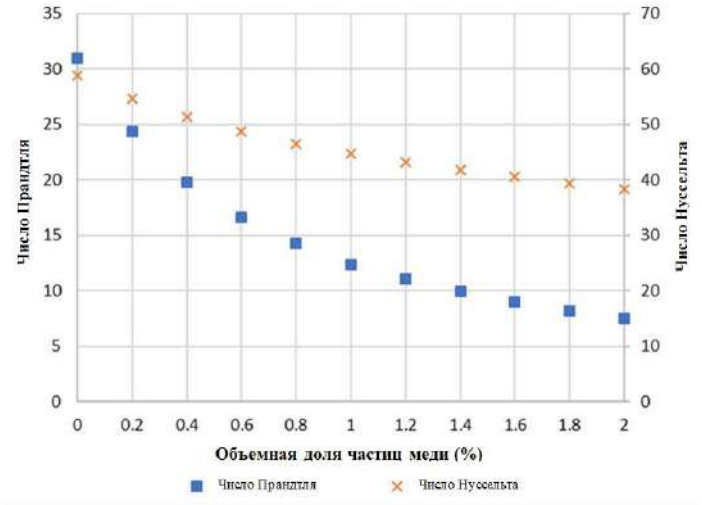


Рисунок 1 – Влияние объемной доли наночастиц меди на теплоноситель

Если наночастицы меди используются в охлаждающей жидкости в количестве 2 % по объему, увеличение теплопередачи составляет от 42,7 до 45,2 %.—Использование такого большого количества наночастиц меди дает возможность уменьшить размер радиатора примерно на 18,7 %. Несмотря на множество положительных эффектов наночастиц, важно учитывать их отрицательное влияние на усилие накачки. Нагрузка перекачки увеличивается на 12,13 % при добавлении 2 % наночастиц меди в теплоноситель [13].

Наножидкостный хладагент влияет на температуру на входе, что влияет на тепловую мощность радиатора.

Следовательно, это влияет как на скорость теплопередачи, так и на число Нуссельта из-за увеличения теплопроводности жидкости и снижения вязкости.

В таблице 3 показано увеличение теплопередачи в зависимости от температуры на входе по сравнению с теплопередачей.

Использование наножидкости позволяет создать более благоприятные условия эксплуатации. Однако увеличение интенсивности теплопередачи приводит к дополнительной насосной нагрузке (из-за повышенной кинематической вязкости). Еще одна проблема, связанная с наножидкостями, — это стабильность и необходимость правильной (уменьшающей седиментацию) конструкции каналов потока [13].

Использование наножидкостей в качестве теплоносителей в охладителях транспортных силовых установок существенно изменит процесс охлаждения за счет изменения габаритов и веса оборудования. Так, например, использование в качестве теплоносителя наножидкости на основе воды с частицами Cu при моделировании охлаждения дизельного двигателя автомобиля «Chevrolet Suburban» позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи в латунных трубках радиатора двигателя на 10 %, по сравнению с классическими теплоносителями [14].

Наножидкости могут заменить традиционные смеси охлаждающих жидкостей, используемые сегодня. При использовании наножидкостей теплоотдача теплоносителя может быть увеличена на 15…40 %. таким образом, было показано, что интенсификация теплообмена за счет применения наножидкостей является нетривиальной задачей. положительный эффект интенсификации теплообмена зависит от соотношения между вязкостью и теплопроводностью наножидкости, а значит от материала частиц и их концентрации. это дает возможность управления процессом теплообмена при помощи выбора нужной концентрации частиц и их материала.

Наибольший эффект от уменьшения размера радиатора проявляется в аэродинамическом дизайне автомобиля. Коэффициент сопротивления можно свести к минимуму, что значительно улучшает экономию топлива.

Таблица 3 – Сравнение различных охлаждающих наножидкостей

	Объемная доля (%)	Улучшение теплопередачи (%) - из-за температуры на входе	Улучшение теплопередачи (%) - общее улучшение теплопередачи
Оксид алюминия Al_2O_3 / вода	1,00	6,00	45,00
Оксид алюминия Al_2O_3 / Этиленгликоль	1,00	7,00	40,00
Оксид алюминия Al_2O_3 / вода + этиленгликоль	0,20	26,00	30,00
Диоксид кремния SiO_2 / вода	0,06	6,70	15,00
Оксид меди CuO / вода + этиленгликоль	0,80	19,68	55,00

Выводы. Таким образом, использование наножидкостей в качестве теплоносителя безусловно перспективно, так как делает возможным снижение металлоемкости оборудования и повышение безопасности его использования в аварийных переходных режимах, сопровождающихся кипением.

Исследование наножидкостей требует дальнейших комплексных экспериментальных исследований их свойств, теоретического анализа, составление общих расчетных корреляций.

Список литературы

1. Chol S. U. S., Estman J. A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles // ASME-Publications-Fed. – 1995. – Т. 231. – С. 99-106.

2. Das S. K. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids //Journal of heat transfer. - 2003. – Т. 125. – №. 4. – С. 567-574.

3. Das S. K., Chol S. U. S., Patel H.E. Heat transfer in nanofluids—a review," // Heat Transfer Engineering. – 2006. – V. 27, №.10. – Pp. 3–19.

4. Buongiorno J. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids // Journal of Applied Physics. – 2009. – Т. 106., №. 9. – С. 094312.

5. Namburu P. K. et al. Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids // Micro & Nano Letters. – 2007. – Т. 2, №. 3. – С. 67-71.

6. Keblinski P., Prasher R., Eapen J. Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? // Journal of Nanoparticle research. – 2008. – Т. 10, №. 7. – С. 1089-1097.

7. Kulkarni D. P., Das D. K., Vajjha R. S. Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution // Applied Energy. – 2009. – Т. 86, №. 12. – С. 2566-2573.

8. Sharifi I., Shokrollahi H., Amiri S. Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2012. – Т. 324, №. 6. – С. 903-915.

9. Kaufui Vincent Wong Applications of Nanofluids: Current and Future // Advances in Mechanical Engineering . – 2010. – № 2. – Pp.11. – DOI:10.1155/2010/519659

10. Рудяк В. Я., Томилина Е. А., Белкин А. А. О коэффициенте теплопроводности наножидкостей // Письма в ЖТФ. – 2010.– Т. 36 (14), – С. 49-54.

9. Бардаханов С. П., Новопашин С. А., Серебрякова М. А. Исследование теплопроводности наножидкостей на основе наночастиц оксида алюминия // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2012. – № 3 (1). – С. 27-33.

10. Терехов В. И., Калинина С. В., Леманов В. В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей // Теплофизика и аэромеханика. – 2010. –Т. 17, № 1. – С. 1-15.

11. Экспериментальный метод измерения теплопроводности наножидкости / А. В. Жаров, Н. Г. Савинский, А. А. Павлов, А. Н. Евдокимов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6. – С. 1345-1350.

12. Сироткина А. Л., Федорович Е. Д., Сергеев В. В. Теплообмен в наножидкостях (обзор исследований). Часть 1. Однофазный теплообмен // Тепловые процессы в технике. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 60-65.

13. О механизме процесса переноса тепла в наножидкостях и их применение / М. М. Сафаров, М. А. Зарипова, Т. Р. Тиллоева, Н. Б. Давлатов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 4(36). – С. 15-19.

14. Bozorgan N., Krishnakumar K., Bozorgan Nar. Numerical study on application of CuO-Water nanofluid in automotive diesel engine radiator // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – № 2. – Pp. 130-136.

References

1. Chol S. U. S., Estman J. A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles // ASME-Publications-Fed. – 1995. – T. 231. – S. 99-106.

2. Das S. K. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids //Journal of heat transfer. - 2003. – T. 125. – №. 4. – S. 567-574.

3. Das S. K., Chol S. U. S., Patel H.E. Heat transfer in nanofluids—a review," // Heat Transfer Engineering. – 2006. – V. 27, №.10. – Pp. 3–19.

4. Buongiorno J. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids // Journal of Applied Physics. – 2009. – T. 106., №. 9. – S. 094312.

5. Namburu P. K. et al. Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids // Micro & Nano Letters. – 2007. – T. 2, №. 3. – C. 67-71.

6. Keblinski P., Prasher R., Eapen J. Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? // Journal of Nanoparticle research. – 2008. – T. 10, №. 7. – S. 1089-1097.

7. Kulkarni D. P., Das D. K., Vajjha R. S. Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution // Applied Energy. – 2009. – T. 86, №. 12. – C. 2566-2573.

8. Sharifi I., Shokrollahi H., Amiri S. Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2012. – T. 324, №. 6. – S. 903-915.

9. Kaufui Vincent Wong Applications of Nanofluids: Current and Future // Advances in Mechanical Engineering . – 2010. – № 2. – Rr.11. – DOI:10.1155/2010/519659

10. Rudyak V. YA., Tomilina E. A., Belkin A. A. O koefficiente teploprovodnosti nanozhidkostej // Pis'ma v ZHTF. – 2010.– T. 36 (14), – S. 49-54.

9. Bardahanov S. P., Novopashin S. A., Serebryakova M. A. Issledovanie teploprovodnosti nanozhidkostej na osnove nanochastic oksida alyuminiya // Nanosistemy: fizika, himiya, matematika. – 2012. – № 3 (1). – S. 27-33.

10. Terekhov V. I., Kalinina S. V., Lemanov V. V. Mekhanizm teploperenosa v nanozhidkostyah: sovremennoe sostoyanie problemy (obzor). CHast' 1. Sintez i svojstva nanozhidkostej // Teplofizika i aeromekhanika. – 2010. –T. 17, № 1. – S. 1-15.

11. Eksperimental'nyj metod izmereniya teploprovodnosti nanozhidkosti / A. V. ZHarov, N. G. Savinskij, A. A. Pavlov, A. N. Evdokimov // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 8-6. – S. 1345-1350.

12. Sirotkina A. L., Fedorovich E. D., Sergeev V. V. Teploobmen v nanozhidkostyah (obzor issledovanij). CHast' 1. Odnofaznyj teploobmen // Teplovye processy v tekhnike. – 2017. – T. 9, № 2. – S. 60-65.

13. O mekhanizme processa perenosa tepla v nanozhidkostyah i ih primenenie / M. M. Safarov, M. A. Zaripova, T. R. Tilloeva, N. B. Davlatov // Politekhnicheskij vestnik. Seriya: Intellekt. Innovacii. Investicii. – 2016. – T. 2, № 4(36). – S. 15-19.

14. Bozorgan N., Krishnakumar K., Bozorgan Nar. Numerical study on application of CuO-Water nanofluid in automotive diesel engine radiator // Modern Mechanical Engineering. – 2012. – № 2. – Pp. 130-136.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации.

Парлюк Екатерина Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Author credentials
Affiliations

Parlyuk Ekaterina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2021

УДК 620.197.7:631.17
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-79-90

О КОРРОЗИОННЫХ ПРОБЛЕМАХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

[1]Князева Лариса Геннадьевна
[1]Дорохов Андрей Валерьевич
[1]Курьято Николай Алексеевич

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

Реферат. *Дан анализ некоторых коррозионных проблем в АПК, связанных с различными климатическими условиями, специфическими средами эксплуатации техники и оборудования и показаны некоторые частные пути решения, связанные с использованием противокоррозионных материалов, доступных и эффективных в сельскохозяйственном производстве. Исследовали действие на сталь Ст3 0,5 М раствора NaCl, грунтов: чернозема обыкновенного (ЧО), чернозема выщелоченного (ЧЩ), темно-каштановой почвы., удобрений: азофоски, карбамида, аммиачной селитры, суперфосфата. Длительными исследованиями (до 160 суток) показана перспективность использования в приморских атмосферах с большим содержанием хлорида натрия отстоев растительных масел и продуктов очистки отработанного моторного масла, обеспечивающих защитную эффективность 88-100 %. Показано, что самой высокой скорости коррозии на стали Ст3 соответствует самое низкое значение pH в почвенных вытяжках чернозема выщелоченного. Установлено, что в высушенных грунтах в отсутствии влаги в течении трех месяцев коррозия на стальных пластинах не начиналась. В открытой атмосфере наиболее агрессивны ЧЩ и ЧО с добавкой аммиачной селитры и азофоски.* Показано, что наибольшие скорости коррозии наблюдаются в *аммиачной селитре как в твердом (0,023 г/м^2·ч), так и в жидком (0,240 г/м^2·ч) виде. Наименее агрессивен – карбамид.* Поверхности стали, имеющие следы минеральных удобрений хорошо защищают нефтяные и синтетические отработанные масла. ингибированные Эмульгином (5 масс. %), водно-восковые составы серии Герон, отстои растительных масел. Установлено, что при относительной влажности воздуха Н = 100% скорость общей коррозии стали Ст3 превышает значения для меди или латуни. Эта картина сохраняется при Н = 100% и одновременном присутствии стимуляторов коррозии CO_2, H_2S, NH_3 в концентрациях, в три раза превышающих предельно допустимые для животноводческих помещений. Уменьшить скорость коррозии металлов в присутствии стимуляторов коррозии на один-два порядка позволяет использование летучего ингибитора коррозии ИФХАН-118

Ключевые слова: *коррозионные проблемы, сельскохозяйственное производство, климат, сезонность, среда эксплуатации, сталь, защита, минеральные удобрения*

ABOUT CORROSION PROBLEMS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

[1]Knyazeva Larisa
[1]Dorokhov Andrey
[1]Kuryato Nikolay
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for the Use of Technology and Oil Products in Agriculture"

Abstract. *An analysis of some corrosion problems in the agroindustrial complex associated with different climatic conditions, specific operating environments of machinery and equipment was given and some particular solutions related to the use of anti-corrosion materials available and effective in agricultural production were shown. The effect on steel St3 of a 0.5 M NaCl solution, soils: ordinary chernozem (CHO), leached chernozem (ChSh), dark chestnut soil., Fertilizers: azophoska, urea, ammonium nitrate, superphosphate was investigated. The prospects of using in coastal atmospheres with a high sodium chloride content of vegetable oil sludge and waste engine oil purification products, providing a protective efficiency of 88-100%, has been shown by long-term studies (up to 160 days). It is shown that the highest corrosion rate on St3 steel corresponds to the lowest pH value in soil extracts of leached chernozem. It was found that in dried soils in the absence of moisture for three months, corrosion on steel plates did not begin. In an open atmosphere, the most aggressive are ChSh and ChO with the addition of ammonium nitrate and azophoska. It is shown that the highest corrosion rates are observed in ammonium nitrate both in solid (0.023 g / m2 × h) and liquid (0.240 g / m2 × h) forms. The least aggressive is urea. Steel surfaces with traces of mineral fertilizers provide good protection for petroleum and synthetic waste oils. inhibited by Emulgin (5 wt.%), water-wax compositions of the Geron series, sediments of vegetable oils. It was found that at a relative humidity of H = 100%, the rate of general corrosion of St3 steel exceeds the values for copper or brass.This picture persists at H = 100% and the simultaneous presence of corrosion stimulants CO2, H2S, NH3 in concentrations three times higher than the maximum permissible for livestock buildings.The use of the volatile corrosion inhibitor IFKHAN-118 makes it possible to reduce the corrosion rate of metals in the presence of corrosion stimulants by one to two orders of magnitude.*

Key words: corrosion problems, agricultural production, climate, seasonality, operating environment, steel, protection, mineral fertilizers

Введение. Коррозия распространена повсеместно, полностью ее устранить невозможно прежде всего по термодинамическим причинам. Следует отметить, что многие проблемы защиты металлов от коррозии обусловлены человеческим фактором. Ежегодные прямые мировые потери от коррозии оцениваются в триллионы долларов. Тем не менее, предполагается [1], что половину коррозионных разрушений можно предотвратить. Сельское хозяйство в нашей стране по коррозионным потерям занимает второе место (20%) после топливно-энергетического комплекса (29 %) [2], что связано с неудовлетворительным состоянием противокоррозионной защиты в отрасли. Основные причины – коррозионная агрессивность сред эксплуатации, большое разнообразие техники и оборудования и конструкций и их использование за пределами нормативных сроков службы при неудовлетворительной противокоррозионной защите, сезонность работы большей части техники и оборудования, недостаток или отсутствие эффективных доступных противокоррозионных материалов и универсальных средств для механизации технологических процессов консервации. Из-за коррозионных разрушений требуются огромные затраты на ремонт и замену сельскохозяйственной техники и оборудования, оплату простоев.

С прекращением существования планового хозяйствования перестали централизованно отслеживать коррозионную ситуацию как в целом по стране, так и в сельскохозяйственном производстве, в частности, что приводит к неудовлетворительному решению коррозионных проблем в АПК (рисунок 1).

Разрушения техники и оборудования под действием атмосферной коррозии связаны с климатическими условиями. Отсутствие климатических станций в стране, обслуживающих АПК, приводит к необходимости разбираться на местах, на сколько те или иные противокоррозионные материалы и оборудование для их нанесения и приготовления, эффективны в конкретных

климатических условиях при соблюдении принципа адекватности стоимости защиты и коррозионной агрессивности среды.

Рисунок 1 – Некоторые условия возникновения коррозионных проблем в сельскохозяйственном производстве

Сельскохозяйственное производство достаточно металлоемко. Точно определить, где коррозия может быть наиболее разрушительной сложно из-за огромного разнообразия техники, оборудования, металлоконструкций, эксплуатируемых в этой отрасли и из-за наличия различного вида загрязнений на металлических поверхностях, которые зависят от типа сельскохозяйственной деятельности.

Возникающие коррозионные проблемы в АПК во многом предопределяют специфические условия сельскохозяйственного производства. Во-первых, это его сезонность. Наибольшие коррозионные разрушения (до 50 %) происходят во время хранения техники в период временного неиспользования. Прежде всего подвергается коррозионным разрушениям тонколистовая сталь, которая достаточно широко используется для изготовления отдельных узлов техники, оборудования в сельском хозяйстве. Усталостная прочность тонколистовых сталей Ст3 и 08 при коррозионных поражениях может снижаться на 35 - 40 % за год [3]. Серьезно корродирует металл в сварных швах, коррозионные потери стали в месте сварного соединения, например, выше, чем у листовой стали в 1,5-2,0 раза [4]. Заметно страдают от коррозии рабочие органы машин, различные резьбовые соединения, поверхности резервуаров для хранения ядохимикатов и удобрений и др. Хотя давно разработаны условия для правильного хранения сельскохозяйственной техники в период неиспользования (ГОСТ 7751-2009) и рекомендована номенклатура противокоррозионных материалов для этих целей (ГОСТ 9.014-78), анализ сегодняшней ситуации показывает, что не более 10% экономически состоятельных хозяйств придерживаются сложившейся ранее организационно-технологической системы хранения машин и оборудования, где функционирует специализированная служба, поддерживается определенная технологическая дисциплина. Однако, даже в них есть проблемы, связанные с отсутствием технологического оборудования и необходимостью выбора доступных и эффективных консервационных материалов из предлагаемых рынком, не обязательно рекомендованных в сельскохозяйственном производстве. Вигдоровичем В.И. и его учениками разработана концепция создания малокомпонентных консервационных материалов с использованием в качестве

растворителя-основы отработанных масел, а в качестве противокоррозионной присадки - побочных продуктов (отходов) различных химических и нефтехимических производств при возможности приготовления консервационных составов непосредственно в хозяйствах [2,5,6] в противовес долголетней технической политике создания консервационных материалов, исходя из целесообразности использования многокомпонентных составов.

Во-вторых, специфические условия в сельскохозяйственном производстве связаны с различными типами сельскохозяйственной деятельности (растениеводство и животноводство).

В растениеводстве важнейшей специфической средой является почва, с которой непосредственно контактирует сельскохозяйственная техника при эксплуатации. Следует отметить, что почва практически всегда содержит влагу в той или иной концентрации, которая ее превращает в электролит, создавая условия для протекания коррозионных процессов. Существует понятие «почвенной коррозии», на которую влияет состав грунта (наличие в нем веществ, стимулирующих коррозию), его пористость, аэрация, влажность, кислотность, электропроводность, которая почти всегда протекает по электрохимическому механизму (кроме случая очень сухих грунтов). Разрушение металла представляет собой анодный процесс. На катоде протекает кислородная или водородная (в очень кислых грунтах) деполяризация. Катодный контроль характерен для влажных грунтов, анодный – для сухих и рыхлых.

Известно, что наиболее агрессивны по отношению к коррозии черноземы, содержащие органические кислоты и тяжелые глинистые почвы, длительное время удерживающие влагу [3]. Практически инертны по отношению к коррозионным разрушениям песчаные грунты. Считаются наиболее коррозионноактивными почвы с pH=3-6 и pH= 7,5 – 9,5. В работе [7] отмечается, что наибольшие коррозионные потери металла происходит на поверхности почвы, а над почвой для сталей Ст3, 45 и 65Г они были на 13 % ниже. Максимальная скорость коррозии наблюдается при влажности грунта 15-25 % [3].

В почве живут различные микроорганизмы. Для существования аэробных микроорганизмов требуется кислород. Они либо окисляют серу, либо участвуют в осаждении железа, оптимальное значение pH для х существования микроорганизмов– 3 - 6. Серобактерии окисляют сероводород сначала в серу, а затем вплоть до серной кислоты:

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + S_2;$$

$$S_2 + 2H_2O + 3O_2 = 2H_2SO_4.$$

ускоряя почвенную коррозию, особенно стали. Бактерии, перерабатывающие ионы железа (pH 4-10) в нерастворимые железистые соединения увеличивают гетерогенность поверхности, также приводя к ускорению коррозионных процессов.

Анаэробные микроорганизмы, вырабатывая сероводород, углеводороды, угольную кислоту и другие химические соединения могут разрушать защитные покрытия на поверхности металла, изменять ход анодной или катодной реакций, влиять на характеристики почвы. Наиболее опасными из них, с точки зрения стимулирования коррозии, считаются сульфатредуцирующие бактерии (СРБ), для жизнедеятельности которых оптимальны болотные, глинистые, илистые грунты с PH 5,5 -8. СРБ восстанавливают сульфаты, имеющиеся в почве, до рыхлых сульфидов и сероводорода на поверхности металла:

$$MgSO_4 + 4H = Mg\,(OH)_2 + H_2S + O_2.$$

Кислород, который выделяется в этой реакции, обеспечивает протекание реакции на катоде. СРБ могут вызывать микробиологическую коррозию [3], которая, как правило неоднородна и локализована на небольших участках [8]. СРБ разрушают нефтепродукты [9], являются причиной повреждений резервуаров для временного хранения горюче-смазочных материалов в специальных резервуарах в хозяйствах.

Удобрения, пестициды, гербициды вносят в почву для повышения ее плодородия, все они отличаются по химическому составу и по концентрации действующего вещества. В сельскохозяйственном производстве также используют консерванты для хранения зерна и силоса. Средства химизации повышают коррозионную агрессивность почвы, стимулируют коррозию на контактирующих с ними металлических поверхностях техники для их внесения (наземная и сельскохозяйственная авиация) и транспортировки, грузоподъемных устройствах, оборудования, резервуаров, на поверхностях конструкций в помещениях для их хранения [10]. Разные виды средств химизации обладают разными уровнями коррозионной активности, которая связана с их составом, разложением составляющих их компонентов при использовании или химическим взаимодействием с образованием агрессивных веществ при участии влаги, химических соединений, имеющихся в почве, атмосфере. Так, например, нитраты аммония или дигидроаммоний - фосфаты разлагаются путем гидролиза до кислот, снижающих pH среды [11]. Из-за снижения pH происходит рост коррозионной активности грунта из-за водородной деполяризации, в результате уменьшается катодное торможение процесса. В работе [12] показано, что удобрения, содержащие азотистый раствор аммиачной селитры и мочевины, достаточно медленно вступают в реакции с листовой сталью и на много быстрее при контакте со сварными швами и отверстиями под болты. Сварные стали страдают от истощения легирующих компонентов в зонах термообработки, при установке болтов в отверстия образуются щели, в которых коррозия усиливается. Фосфатные удобрения менее коррозионно агрессивны по отношению к стали, так как образуют фосфатный пассивирующий слой на ее поверхности. Когда частицы удобрений, соприкасающиеся с металлическими поверхностями, высыхают, скорость коррозии последних минимальна. Но являясь крайне гигроскопичными, частицы удобрений будут постоянно притягивают к себе влагу, вновь становясь агрессивными. В работе [1] многочисленными тестами показано, что органические удобрения и мочевина (навоз и птичий помет) более коррозионно агрессивны к мягким сталям, чем к оцинкованным.

Для хранения сыпучих продуктов в сельскохозяйственном производстве используют стальные цилиндрические силосы. В процессе силосования образуются органические кислоты, вызывающие коррозионные процессы [13]. Следует заметить, что коррозионные процессы более активно протекают внутри силосов, чем снаружи, так как температура там выше. Для предотвращения роста плесени и бактерий на хранящихся в силосах продуктах их обрабатывают, как правило, кислотами типа муравьиной, пропионовой, которые также могут выступать стимуляторами коррозии. Для защиты емкостного оборудования, в том числе силосов, наиболее эффективными считаются покрытия на основе цинка. На сегодняшний момент самым эффективным средством для защиты емкостного оборудования от коррозии считаются покрытия на основе цинка, причем важна толщина и его качество. Более простыми и дешевыми являются покрытия из эмали на основе цинка, имеющие значительные сроки эксплуатации. сохраняющие пластичность в большом диапазоне температур.

Животноводство- источник агрессивных органических удобрений и стимуляторов коррозии в атмосфере животноводческих помещений. В атмосфера животноводческих помещений попадают продукты жизнедеятельности животных - повышенные концентрации таких стимуляторов коррозии (СК)как водяные пары, углекислый газ, аммиак и сероводород, способствующие возникновению углекислотной, сероводородной, бактериальной коррозии. Для защиты техники, оборудования и металлоконструкций в животноводческих помещениях одним из распространенных средств защиты является цинкование [14]. Под руководством Вигдоровича В.И. в ФГБНУ ВНИИТиН были разработаны методики создания модельных атмосфер с такими СК [15,16]. Для борьбы с коррозией оборудования, конструкций в животноводческих помещениях подходят отстои растительных масел (подсолнечного (ПМ) и рапсового (РМ)). При возможности герметизации защищаемых объемов открывается перспектива использования летучих ингибиторов коррозии (ЛИК) [17-19]. Под руководством Вигдоровича В.И. были получены данные о защитной эффективности ЛИК серии ИФХАН в таких условиях [17,19], в том числе и при защите гальванических пар (сталь-медь, сталь-латунь, медь-латунь) с их помощью [18,20]. Разработаны критерии универсализма ЛИК [19,20].

Деятельность сельскохозяйственного предприятия невозможна без горюче-смазочных материалов, для хранения которых до сих пор используются резервуары, изготовленные из

низколегированных сталей, обладающие недостаточной коррозионной стойкостью. В коррозионных процессах внутри резервуара участвует вода, нефтепродукты, продукты их окисления, смесь воздуха с парами нефтепродуктов и растворенным в них кислородом, и водой. Нередко возникают сквозные коррозионные дефекты, связанные с деятельностью микроорганизмов, которые наиболее активно размножаются при температуре 6-34°С и кислотности среды в диапазоне от 1,0 до 10,0 pH в первые 15-30 суток хранения нефтепродукта. В работе [21] для борьбы с общей и бактериальной коррозией для таких случаев предлагается использовать хиральные анионные кооординационно насыщенные комплексы кобальта (III).

Еще одна из коррозионных проблем связана с возможной загрязнением окружающей среды продуктами коррозии металлов и консервантами и с необходимостью в каждом конкретном случае рассчитывать возможный экологический ущерб [22].

Оптимальным способом борьбы с коррозией по соотношению затраты-эффективность применения является ингибиторная защита. В данной работе кратко представлены отдельные результаты коррозионных исследований, проводимых в ФГБНУ ВНИИТиН по поиску возможных частных решений конкретных коррозионных проблем в АПК.

Объекты и методика исследования

Коррозионное воздействие различных грунтов (чернозема обыкновенного, чернозема выщелоченного, темно-каштановой почвы) изучали по отношению к стали Ст3. Предварительно грунты слоем 2-3 см высушивали при температуре 100 ^{0}С в течение 8 часов в сушильный шкафу.

Почвенные вытяжки готовили в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 и 26483-85. Для определения скорости коррозии стали в почвенных вытяжках использовали метод поляризационных кривых [21].

Помещая стальные образцы на три месяца в стеклянные банки с грунтом, проводили гравиметрические исследования, определяя скорость коррозии по изменению массы образцов [21]. Опыты проводили в закрытых крышками банках в лабораторном помещении и на открытой площадке, в банках без крышек на открытой площадке. Период исследований приходился на май-июль, средняя температура воздуха составляла +25 ^{0}С. Для изучения влияние влажности грунта на коррозионные разрушения стали использовали закрытые крышками стеклянные банки, продолжительность эксперимента составляла 2 недели.

Для моделирования коррозионного воздействия приморских атмосфер использовали ускоренные коррозионные испытания в 0,5 М растворе хлорида натрия (ГОСТ 9.042-75).

Для моделирования атмосфер животноводческих помещений использовали стимуляторы коррозии в концентрациях, которые были выше предельно допустимых для животноводческих помещений в три раза, CO_2 - 0,06 об. %, $C(NH_3)$ – 60 мг/м^3 и $C(H_2S)$ – 30 мг/м^3. Изучали коррозионные изменения на углеродистой стали Ст3, меди М1, латуни Л62 в присутствии стимуляторов коррозии и ЛИК. Методики работы с ЛИК описаны в [16-20].

Результаты и обсуждение. Известно, что большими скоростями коррозии отличаются области морского климата, которые характеризуются повышенным содержанием хлорида натрия в атмосфере. В таблице 1 приведены результаты стандартных исследований некоторых консервационных материалов в 0,5 М растворе NaCl (14 суток). Как следует из полученных результатов высокую защитную эффективность, превышающую 90 %, в таких условиях показывают консервационные масла Маякор, Кормин, Мобиин-4, масла И-20А и отработанное М-10 Г2(к), ингибированные 15 масс. % Мобиин-3.

Более длительными исследованиями (до 160 суток) показана (таблица 2) перспективность использования для таких целей доступных на селе отстоев растительных масел: подсолнечного (ОПМ) и рапсового (ОРМ), а также продуктов очистки отработанного моторного масла (ПООМ) [22]. Скорость коррозии (К) под их пленками на стали Ст3 оказалась незначительной, а защитная эффективность составила Z = 89-100 % (таблица 2).

Влияние типа почвы на коррозию стали Ст3 изучали на примере чернозема обыкновенного (ЧО), чернозема выщелоченного (ЧЩ), темно-каштановой (ТК) почвы, взятых на территории Тамбовской области. Значение pH в почвенных вытяжках исследуемых грунтов составили: 7.2 для ЧО, 5,9 – для ЧЩ; 6.7 – для ТК. При этом были получены следующие значения скоростей коррозии (К) по данным поляризационных кривых, г/м^{2}час: 0,064 – для ЧО; 0,073 – для ЧЩ; 0,065 – для ТК. Таким образом, почвенные вытяжки чернозема выщелоченного характеризуются самой

высокой скоростью коррозии при самом низком значении pH. Можно предположить, что вторичные продукты коррозии при более низких pH (в более кислой среде) обладают большей растворимостью, благодаря чему происходит дополнительная катодная деполяризация ионами водорода.

Таблица 1 – Защитная эффективность некоторых ингибированных материалов в 0,5 М растворе NaCl

Консервационный материал	Z, %	Консервационный материал	Z, %
Маякор	99	Мобиин-4	92
Кормин	98	СВВЗ серии «Герон»	80-100
М10Г2(к)	28	М10Г2(к)	35
+5 масс. % КО-СЖК	42	+5 масс.% Мобиин-3	45
+10 масс. % КО-СЖК	63	+10 масс.% Мобиин-3	68
+15 масс. % КО-СЖК	75	+15 масс.% Мобиин-3	78
ММО	57	ММО	56
+5 масс. % КО-СЖК	76	+5 масс.% Мобиин-3	80
+10 масс. % КО-СЖК	89	+10 масс.% Мобиин-3	90
+15 масс. % КО-СЖК	90	+15 масс.% Мобиин-3	90
ТКп	28	ТКп	32
+5 масс. % КО-СЖК	45	+5 масс.% Мобиин-3	51
+10 масс. % КО-СЖК	50	+10 масс.% Мобиин-3	85
+15 масс. % КО-СЖК	65	+15 масс.% Мобиин-3	89
И-20А	41	И-20А	41
+5 масс.% КО-СЖК	52	+5 масс.% Мобиин-3	53
+10 масс.% КО-СЖК	68	+10 масс.% Мобиин-3	80
+15 масс.% КО-СЖК	72	+15 масс.% Мобиин-3	92

Таблица 2 – Защитная эффективность некоторых отходов в 0,5 М растворе NaCl

№ пп	Консервационный материал	Время выдержки в 0,5 М растворе NaCl, сутки									
		30		60		90		120		160	
		$K \cdot 10^3$, г/м²ч	Z, %	$K \cdot 10^3$, г/м²ч	Z, %	$K \cdot 10^3$, г/м²ч	Z, %	$K \cdot 10^3$, г/м²ч	Z, %	$K \cdot 10^3$, г/м²ч	Z, %
1	ОПМ/ОРМ	0/0	100/100	0/0	100/100	0/0	100/100	1,0/1,5	98/97	6/6,6	90/89
3	ПООМ	1,8	90	2,5	89	4,4	88	1,0	98	6,6	89
4	Контроль	18		23		37		50		60	
Примечания - Температура нанесения пленки 20°С. Толщина покрытия – 120 мкм.											

В отсутствии влаги на стальных пластинах в высушенных грунтах (в закрытых банках) в течении трех месяцев коррозия не начиналась (К ~ 0 г/м²·ч), в отличие от образцов в банках без крышек на открытых площадках (таблица 3). Наиболее сильно сталь корродирует в ЧЩ и ЧО с добавкой аммиачной селитры и азофоски.

Таблица 3 – Влияние добавок удобрений на коррозию стали Ст3 в высушенных грунты при испытаниях в открытых банках на открытой площадке

№ п/п	Грунт	Минеральное удобрение (1 об. %)	Скорость коррозии К, г/м²час	
			14 суток	45 суток
1	ТК	без удобрения	0,0021	0,0024
2	ЧЩ	без удобрения	0,0023	0,0042
3	ЧО	без удобрения	0,0015	0,0023
4	ЧО	азофоска	0,0023	0,0045
		карбамид	0,0018	0,0023
		аммиачная селитра	0,0023	0,0042

Как показали гравиметрические исследования, в насыщенных растворах минеральных удобрений скорость коррозии стали выше на порядок, чем в гранулированных. Наиболее агрессивна из исследованных удобрений, как в твердом, так и в жидком виде, аммиачная селитра, К= 0,023 г/м^2·ч и 0,240 г/м^2·ч, соответственно. Наименее агрессивен – карбамид.

При экспериментальных исследованиях было обнаружена интересная особенность. Вместо ожидаемого увеличения скорости коррозии с увеличением увлажнения грунта, наблюдалась обратная тенденция. Так, при увлажнении грунта дистиллированной водой до 25 % скорость коррозии составила К = 0,0035 – 0,0041 г/м^{2}ч, а при 50 % К = 0,0019 – 0,0024 г/м^{2}ч. Вероятно, такое явление вызвано затруднением катодного процесса в силу осложнения аэрации грунта, насыщенного влагой. Аналогичную картину наблюдали при замене дистиллированной воды растворами минеральных удобрений. Ожидаемо, наибольшую скорость коррозии наблюдали в почвах, увлажненных растворами аммиачной селитры (таблица 4). В почвах, увлажненных растворами суперфосфата, мочевины и аммиачной селитры коррозионные процессы протекают более равномерно, чем в увлажненных азофоской. В последнем случае протекает питтинговая коррозия.

Таблица 4 – Влияние увлажнения грунта до 25/ 50 % растворами минеральных удобрений (1мг/1 л воды) на скорость коррозии стали Ст3

Грунт	Скорость коррозии стали Ст3 в грунте К·10^4, г/м^{2}ч. Увлажнитель:				
	Вода	Азофоска	Аммиачная селитра	Карбамид	Суперфосфат
ЧЩ	41/24	80/60	90/50	25/25	30/25
ЧО	39/20	75/60	85/60	25/20	25/20
ТК	35/19	80/50	90/50	20/20	25/25

Стальные поверхности со следами минеральных удобрений хорошо защищают нефтяные и синтетические, в том числе и отработанные масла (ММО, ОМ-D) [22], особенно ингибированные Эмульгином (5 масс. %), водно-восковые составы (ВВС) серии Герон (ТУ 0255-001-11475232-2002) и растительные масла [22,23] (таблица 5). Лучшие результаты продемонстрировал ОПМ, который независимо от состояния поверхности (со следами или без удобрений) полностью ее защищает в течение 14 суток.

Таблица 5 – Защитная эффективность некоторых материалов по отношению к стали Ст3 со следами минеральных удобрений в 0,5 М растворе NaCl (14 суток)

№ пп	Консервационный материал	Z на стали со следами удобрений, %			
		Аммиачная селитра	Азофоска	Карбамид	Суперфосфат
1	Герон/Герон Л	91/77	92/75	86/92	89/93
2	Герон – Б/Герон ЛБ	96/81	95/82	99/91	97/78
3	Mobil-Devlac (M-D)/ O M-D	69/75	68/75	61/C	55/58
4	O M-D + 5 масс.% Эмульгина	85	83	88	92
5	М-10Г2к/ММО	71/98	70/98	75/97	76/97
6	М-10Г2к +5 масс.% Эмульгина	78	77	80	82
6	ПМ/ОПМ	98/~100	98/~100	96/~100	97/~100
	Контроль*	806	668	465	518
Примечания: * - Скорость коррозии, г/м^{2}ч. С – стимулирование коррозии					

Установлено, что при относительной влажности воздуха Н = 100% наибольшая скорость общей коррозии наблюдается на стали Ст3 в отличии от меди или латуни, причем она возрастает с течением времени (таблица 6). Эта тенденция сохраняется при Н = 100% и одновременном присутствии CO_2, H_2S, NH_3 в концентрациях, в три раза превышающих предельно допустимые для животноводческих помещений.

Уменьшить скорость коррозии металлов в присутствии стимуляторов коррозии на один-два порядка позволяет использование летучих ингибиторов коррозии (ЛИК), что показано на примере использования ИФХАН-118 в таблице 6.

Таблица 6 – Изменение скорости коррозии во времени (гравиметрические исследования)

τ, час	Атмосфера Н = 100%.	Изменение скорости во времени на металлах, К, г/(м^2·ч),					
		Сталь Ст3		Латунь Л62		Медь М1	
		без ЛИК	ИФХАН-118	без ЛИК	ИФХАН-118	без ЛИК	ИФХАН-118
340	без СК	0,01200	0,00072	0,00880	0,00140	0,0039	0,0018
	CO_2+NH_3+H_2S	0,03100	0,00040	0,02700	0,01512	0,1000	0,0120
680	без СК	0,03600	0,00036	0,00140	0,00015	0,0016	0,0007
1360	без СК	0,06400	0,00064	0,00070	0,00011	0,0012	0,0005

Заключение. Таким образом, в сельскохозяйственном производстве есть много нерешенных коррозионных проблем, которые можно решить с помощью ингибиторной защиты, но в каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход с учетом специфических условий сельскохозяйственного производства. Необходима разработка противокоррозионных материалов, доступных и эффективных в сельскохозяйственном производстве, при соблюдении принципа адекватности стоимости защиты и коррозионной агрессивности среды.

Список литературы

1. Loto C.A., Popoola A.P.I. Environmental surface degradation of galvanized and mild steel in cattle and poultry wastes and urea solution// Int. Journal of the Physical sciences. 2011. – Issue 6(3). – Pp. 3051-3074.

2. Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля – Москва: Издательство «КАРТЭК», 2014. – 232 с.

3. Романченко Н.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016 – 188 с.

4. Петрашев А.И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении: дис. …д-ра техн. наук: 05.20.03. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова / Петрашев Александр Иванович. – Тамбов, 2007. – 400 с.

5. Современный этап разработки малокомпонентных антикоррозионных консервационных материалов на масляной основе / Шель Н.В., Вигдорович В.И., Поздняков А.П., Цыганкова Л.Е. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 1999. – Т. 42, № 1. – С. 3-13.

6. Некоторые аспекты технической политики и сырьевой базы производства ингибиторов коррозии металлов / Шель Н.В., Вигдорович В.И., Ермакова О.Н., Цыганкова Л.Е., Чивилева Л.В., Бернацкий П.Н. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 1998. – Т. 3, № 2. – С. 114-122.

7. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе, В.О. Китиков; под ред. М.М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.

8. Starosvetsky J., Starosvetsky D., Amon R. Identification of microbiologically influenced corrosion in industrial equipment failures // Engineering Failure analysis. – 2007. – Issue 14. – Pp.1500-1511.

9. Рязанов А.В., Вигдорович В.И., Завершинский А.Н. Биокороззия металлов. Теоретические представления, методы подавления // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2003. – Т. 8. № 5. – С. 821-837.

10. Сохраняемость и противокоррозионная защита техники в сельском хозяйстве / Черноиванов В.И., Северный А.Э, Зазуля А.Н., Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. – М: ГНУ ГОСНИТИ, 2009. – 240 с.

11. Makanjuola Oki and Paul. A. L. Anawe. A Review of Corrosion in Agricultural Industries // Physical Science International Journal. – 2015. – Issue 5(4). – Pp. 216-222. – DOI: 10.9734/PSIJ/2015/14847.

12. Effect of Heat Treatment on the Stress Corrosion Cracking of Alloy 690 / Casales M., Salinos Bravo V.M., Martinez Villafane A., Rodrigues G. //Journal of Materials Science and Engineering A. – 2002. – Issue. 332. – Pp. 223-230.

13. Eker B, Yuksel E. Solutions to corrosion caused by agricultural chemicals // Trakia Journal of Sciences. – 2005. – №3(7). – Pp.1-6.

14. Пек Л. Защита от коррозии оборудования животноводческих ферм методом цинкования // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2009. – №3. – С. 50-51.

15. Моделирование коррозионно-агрессивных атмосфер для оценки эффективности летучих ингибиторов / Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Шель Е.Ю., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Урядников А.А. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т.83, № 7. – С.42-46.

16. Влияние агрессивных атмосфер животноводства на коррозию металлов / Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д. // Наука в центральной России. – 2020. №1(43). – С.69-80.

17. Vigdorovich,V.I. Protection of carbon steel against atmospheric corrosion by volatile inhibitors of IFKhAN series at high concentrations of CO_2, H_2S and NH_3 / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova, N.V. Shel, L.G. Knyazeva, A.V. Dorochov, A.A. Uryadnikov// International journal of corrosion and scale inhibition. – 2018. – Vol. 7. - № 2. - Pp. 175-184.

18. Влияние летучего ингибитора ИФХАН-114 на эффективность работы ряда контактных гальванических пар металлов и скорость коррозии их составляющих в атмосфере животноводческих помещений / Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Дорохова А.Н., Дорохов А.В., Урядников А.А. // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 6. – С. 65-69.

19. Universality of Volatile Corrosion Inhibitors in Terms of Agricultural Production Requirements / Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G. // Russian Agricultural Sciences. – 2019. – Т. 45. – № 3. – С. 307-314.

20. Коррозия и защита металлов летучими ингибиторами в условиях животноводческих помещений (монография)/В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Л.Г. Князева и др. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – 2019. – 185 с.

21. О защите от бактериальной коррозии резервуаров для временного хранения нефтепродуктов в АПК / Зеленцова В.А., Белоглазов С.М., Князева Л.Г., Корнев А.Ю. // Наука в центральной России. – 2021. – №2. – С. 83-94.

22. Князева Л.Г. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья: диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / ГОУВПО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов, 2012.

23. Технология консервации аграрной техники водно-восковым составом «Герон» / Петрашев А.И., Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Клепиков В.В. // Наука в центральной России. – 2013. – №1. – С. 53-56.

References

1. Loto C.A., Popoola A.P.I. Environmental surface degradation of galvanized and mild steel in cattle and poultry wastes and urea solution// Int. Journal of the Physical sciences. 2011. – Issue 6(3). – Pp. 3051-3074.

2. Zashchita metallov ot atmosfernoj korrozii maslyanymi pokrytiyami / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. SHel', L.G. Knyazeva, A.N. Zazulya – Moskva: Izdatel'stvo «KARTEK», 2014. –232 s.

3. Romanchenko N.M. Zashchita sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot korrozii: ucheb. posobie / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. – Krasnoyarsk, 2016 – 188 s.

4. Petrashev A.I. Sovershenstvovanie tekhnologicheskih processov i resursosberegayushchih sredstv konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki pri hranenii: dis. …d-ra tekhn. nauk: 05.20.03. / Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. N.I. Vavilova / Petrashev Aleksandr Ivanovich. – Tambov, 2007. – 400 s.

5. Sovremennyj etap razrabotki malokomponentnyh antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na maslyanoj osnove / SHel' N.V., Vigdorovich V.I., Pozdnyakov A.P., Cygankova L.E. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya. – 1999. – T. 42, № 1. – S. 3-13.

6. Nekotorye aspekty tekhnicheskoj politiki i syr'evoj bazy proizvodstva ingibitorov korrozii metallov / SHel' N.V., Vigdorovich V.I., Ermakova O.N., Cygankova L.E., CHivileva L.V., Bernackij P.N. // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 1998. – T. 3, № 2. – S. 114-122.

7. Iznos i korroziya sel'skohozyajstvennyh mashin / M.M. Severnev, N.N. Podlekarev, V.SH. Sohadze, V.O. Kitikov; pod red. M.M. Severneva. – Minsk: Belarus. navuka, 2011. – 333 s.

8. Starosvetsky J., Starosvetsky D., Amon R. Identification of microbiologically influenced corrosion in industrial equipment failures // Engineering Failure analysis. – 2007. – Issue 14. – Pp.1500-1511.

9. Ryazanov A.V., Vigdorovich V.I., Zavershinskij A.N. Biokorozziya metallov. Teoreticheskie predstavleniya, metody podavleniya // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2003. – T. 8. № 5. – S. 821-837.

10. Sohranyaemost' i protivokorrozionnaya zashchita tekhniki v sel'skom hozyajstve / CHernoivanov V.I., Severnyj A.E, Zazulya A.N., Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G. – M: GNU GOSNITI, 2009. – 240 s.

11. Makanjuola Oki and Paul. A. L. Anawe. A Review of Corrosion in Agricultural Industries // Physical Science International Journal. – 2015. – Issue 5(4). – Pp. 216-222. – DOI: 10.9734/PSIJ/2015/14847.

12. Effect of Heat Treatment on the Stress Corrosion Cracking of Alloy 690 / Casales M., Salinos Bravo V.M., Martinez Villafane A., Rodrigues G. //Journal of Materials Science and Engineering A. – 2002. – Issue. 332. – Pp. 223-230.

13. Eker B, Yuksel E. Solutions to corrosion caused by agricultural chemicals // Trakia Journal of Sciences. – 2005. – №3(7). – Pp.1-6.

14. Pek L. Zashchita ot korrozii oborudovaniya zhivotnovodcheskih ferm metodom cinkovaniya // Vestnik FGOU VPO MGAU. – 2009. – №3. – S. 50-51.

15. Modelirovanie korrozionno-agressivnyh atmosfer dlya ocenki effektivnosti letuchih ingibitorov / Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., SHel' N.V., SHel' E.YU., Knyazeva L.G., Dorohov A.V., Uryadnikov A.A. // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. – 2018. – T.83, № 7. – S.42-46.

16. Vliyanie agressivnyh atmosfer zhivotnovodstva na korroziyu metallov / Knyazeva L.G., Dorohov A.V., Kur'yato N.A., Prohorenkov V.D. // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. №1(43). – S.69-80.

17. Vigdorovich, V.I. Protection of carbon steel against atmospheric corrosion by volatile inhibitors of IFKhAN series at high concentrations of CO2, H2S and NH3 / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova, N.V. Shel, L.G. Knyazeva, A.V. Dorochov, A.A. Uryadnikov// International journal of corrosion and scale inhibition. – 2018. – Vol. 7. - № 2. - Rr. 175-184.

18. Vliyanie letuchego ingibitora IFHAN-114 na effektivnost' raboty ryada kontaktnyh gal'vanicheskih par metallov i skorost' korrozii ih sostavlyayushchih v atmosfere zhivotnovodcheskih pomeshchenij / Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Cygankova L.E., Dorohova A.N., Dorohov A.V., Uryadnikov A.A. // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. – 2018. – № 6. – S. 65-69.

19. Universality of Volatile Corrosion Inhibitors in Terms of Agricultural Production Requirements / Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G. // Russian Agricultural Sciences. – 2019. – T. 45. – № 3. – S. 307-314.

20. Korroziya i zashchita metallov letuchimi ingibitorami v usloviyah zhivotnovodcheskih pomeshchenij (monografiya)/V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, L.G. Knyazeva i dr. – Tambov: Izd-vo Pershina R.V. – 2019. – 185 s.

21. O zashchite ot bakterial'noj korrozii rezervuarov dlya vremennogo hraneniya nefteproduktov v APK / Zelencova V.A., Beloglazov S.M., Knyazeva L.G., Kornev A.YU. // Nauka v central'noj Rossii. – 2021. – №2. – S. 83-94.

22. Knyazeva L.G. Nauchnye osnovy sozdaniya antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotavshih neftyanyh masel i rastitel'nogo syr'ya: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk / GOUVPO «Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet». – Tambov, 2012.

23. Tekhnologiya konservacii agrarnoj tekhniki vodno-voskovym sostavom «Geron» / Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D., Klepikov V.V. // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – №1. – S. 53-56.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Дорохов Андрей Валерьевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Курьято Николай Алексеевич – лаборант-исследователь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: cskasparta@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Dorokhov Andrey – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Kuryato Nikolay– Research laboratory assistant of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: cskasparta@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2021

УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-90-95

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ТРАКТОРА НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ С ВСТРОЕННЫМ МОДУЛЬНЫМ СМЕСИТЕЛЕМ

[1]Мещеряков Александр Геннадьевич
[1]Нагорнов Станислав Александрович
[1]Мещерякова Юлия Владимировна

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

Реферат. *Одно из направлений в сельскохозяйственной отрасли является улучшение качества дизельного топлива. Для этого использовали биодизельное топливо в качестве добавки к товарному дизельному топливу. Биодизельное топливо синтезировали в лабораторных условиях по реакции переэтерификации из растительных масел и одноатомных спиртов, а смесевое топливо получали непосредственно на тракторе. Для этого в топливную систему трактора ЮМЗ-6Л встраивали модульный смеситель. За счет своей конструкции в модульном смесителе происходит не только смешивание дизельного и биодизельного топлив, но и многофакторное воздействие на обрабатываемое смесевое топливо (кинематическое, кавитационное, ультразвуковое) в результате чего улучшается качество конечного топлива. В проведении эксперимента участвовали трактора ЮМЗ-6Л с установленным модульным смесителем в*

топливную аппаратуру и ЮМЗ-6АЛ со штатной топливной аппаратурой. Трактора выполняли одинаковую сезонную работу, равную по объему на однотипных агрегатах. Через каждые 120 моточасов осуществляли съем топливного оборудования для его проверки на топливных стендах. В ходе исследований установлено, что работа трактора на смесевом дизельном топливе положительно влияет на ресурс основных агрегатов топливной системы, таких как распылители форсунок, плунжерные пары ТНВД, подкачивающий насос. Так в сравнении с аналогичной топливной аппаратурой, работающей на дизельном топливе, после 960 моточасов наработки показатели распылителей форсунок, работающих на смесевом биодизельном топливе выше на 3 %, пусковая подача плунжерных пар – на 13,75%, цикловая подача плунжерных пар – на 4,6%, подкачивающего насоса на 2,6%.

Ключевые слова: *дизельное топливо, биодизельное топливо, модульный смеситель, топливная аппаратура.*

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF TRACTOR FUEL EQUIPMENT ON MIXED FUEL WITH A BUILT-IN MODULAR MIXER

[1]Meshcheryakov Alexander
[1]Nagornov Stanislav
[1]Meshcheryakova Yulia
[1]FSBSI All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture"

Abstract. *One of the directions in the agricultural sector is to improve the quality of diesel fuel. For this purpose, biodiesel was used as an additive to commercial diesel fuel. Biodiesel was synthesized under laboratory conditions by the esterification reaction from vegetable oils and monatomic alcohols, and the mixed fuel was obtained directly on a tractor. To do this, a modular mixer was built into the fuel system of the YUMZ-6L tractor. Due to its design, the modular mixer not only mixes diesel and biodiesel fuels, but also has a multifactorial effect on the processed mixed fuel (kinematic, cavitation, ultrasonic), as a result of which the quality of the final fuel improves. The experiment involved tractors YMZ-6L with a modular mixer installed in the fuel equipment and YMZ-6AL with standard fuel equipment. Tractors performed the same seasonal work, equal in volume on the same type of units. Every 120 hours, fuel equipment was removed for its inspection at fuel stands. In the course of research, it was found that the operation of a tractor on mixed diesel fuel positively affects the resource of the main fuel system units, such as atomizers of injectors, plunger pairs of fuel injection pumps, a pumping pump. So, in comparison with similar fuel equipment running on diesel fuel, after 960 operating hours, the indicators of atomizers of injectors running on mixed biodiesel fuel are 3% higher, the starting supply of plunger pairs is 13.75%, the cyclic supply of plunger pairs is 4.6%, the pumping pump is 2.6%.*

Keywords: *diesel fuel, biodiesel fuel, modular mixer, fuel equipment.*

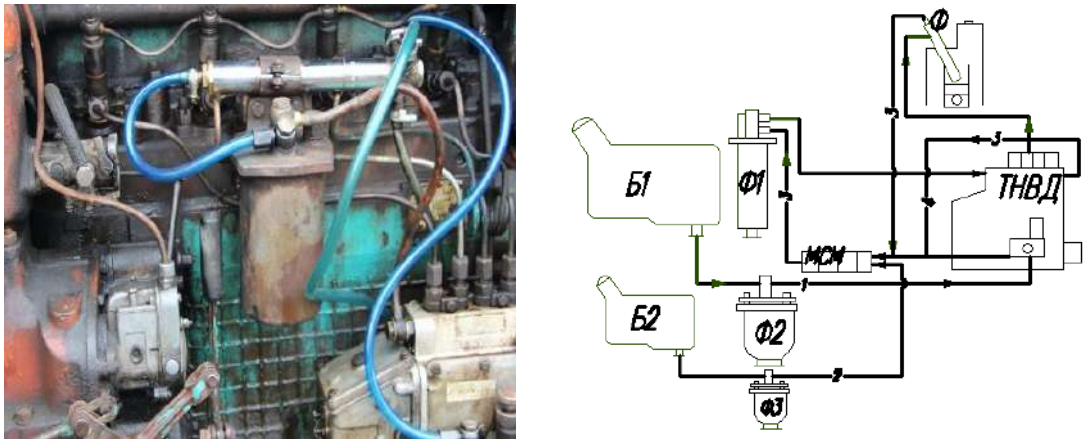
Введение. Одним из основных элементов в работе сельскохозяйственных машин является топливная аппаратура. Топливная аппаратура определяет мощностные и экономические показатели работы техники, надежность и долговечность основных узлов техники, качество отработанных газов.

Использование некачественного дизельного топлива приводит к нарушению работы топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники. Для улучшения качества товарного дизельного топлива предлагается использовать в качестве добавки биодизельное топливо на основе масел растительного происхождения для получения смесевого топлива [1-6]. Применение смесевого топлива позволит сократить использование нефтяного топлива, сократить количество вредных выбросов в отработанных газах.

Целью данной работы является изучение влияния смесевого топлива на работу топливной аппаратуры трактора ЮМЗ.

Материалы и методы. Для улучшения качества товарного дизельного топлива использовали биодизельное топливо в качестве 20% биодобавки. Биодизельное топливо получали по реакции

переэтерификации растительных масел с использованием метанола и гомогенного катализатора. Смесевое топливо получали непосредственно на тракторе. Для этого в топливную систему трактора ЮМЗ-6Л встраивали модульный смеситель (рисунок 1). За счет своей конструкции в модульном смесителе происходит не только смешивание дизельного и биодизельного топлив, но и многофакторное воздействие на обрабатываемое топливо (кинематическое, кавитационное, ультразвуковое) [7-9] в результате чего улучшается качество конечного топлива.



Б1 – бак для дизельного топлива, Б2 – бак для биодизельного топлива, Ф1 – фильтр тонкой очистки, Ф2 – фильтр грубой очистки, Ф3 – фильтр грубой очистки, МСМС – модульный смеситель, ТНВД – топливный насос высокого давления, Ф – форсунки. 1 – дизельное топливо; 2 – биодизельное топливо; 3 – смесевое топливо; 4 – дренаж

Рисунок 1 – Фото и схема топливной системы трактора ЮМЗ-6Л с модульным смесителем

В проведении эксперимента участвовали трактора ЮМЗ-6Л с установленным модульным смесителем в топливную аппаратуру и ЮМЗ-6АЛ со штатной топливной аппаратурой. Перед испытаниями на обоих комплектах топливных аппаратурах были заменены распылители в форсунках и плунжерные пары в насосах на новые из одной партии, с последующей регулировкой согласно спецификациям. Трактора выполняли одинаковую сезонную работу, равную по объему на однотипных агрегатах. Через каждые 120 моточасов осуществляли съем топливного оборудования для его проверки на топливных стендах (рисунок 2).

а) прибор КИ-3333

б) стенд КИ-921

Рисунок 2 – Внешний вид стендов для регулирования работы топливной аппаратуры

Регулирование и проверку технического состояния двух комплектов форсунок ФД-22 осуществляли на приборе КИ-3333. Определение технического состояния форсунок оценивали по качеству распыливания и давлению дизельного топлива. Давление начала впрыскивания замеряли на установленном манометре, а качество распыливания визуально и на слух. Визуально оценивали размер капель, распределение их по длине и сечению топливного факела, оценивали звучность впрыскивания.

На стенде КИ-921осуществляли регулировку топливных насосов ТНВД 65Н-1100150 с комплектом отрегулированных форсунок на дизельном топливе.

Результаты и их обсуждение. На рисунках 3-6 представлена динамика изменения давления впрыска форсунок, цикловой, пусковой подачи топлива и давления подкачивающего насоса в зависимости от наработки моточасов и вида используемого топлива. На рисунке 3 показана динамика падения давления начала впрыска. В ходе испытаний давление не изменялось первые 120 моточасов, далее происходило постепенное снижение давления начала впрыска. На дизельном топливе более быстрая динамика снижения давления начала впрыска. Так после 960 часов наработки форсунки, работающие на дизельном топливе, имели давление начала впрыска в 160, кгс/см^2. На смесевом – 165 кгс/см^2.

На рисунке 4 показана динамика падения цикловой подачи ТНВД. Изменение цикловой подачи началось после 240 моточасов наработки. По истечению 240 моточасов происходило постепенное снижение уровня цикловой подачи. На дизельном топливе более быстрая динамика снижения уровня цикловой подачи. Так после 960 часов наработки ТНВД, работающий на дизельном топливе, имел уровень цикловой подачи в 62 мм^3/цикл. На смесевом – 65 мм^3/цикл.

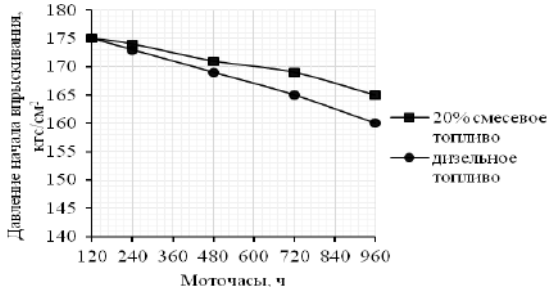


Рисунок 3 – Динамика изменения начала впрыскивания топлива в зависимости от моточасов

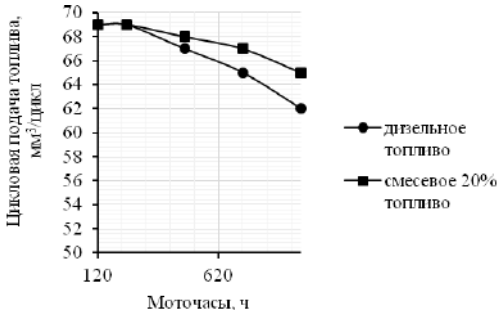


Рисунок 4 – Динамика изменения цикловой подачи топлива в зависимости от моточасов

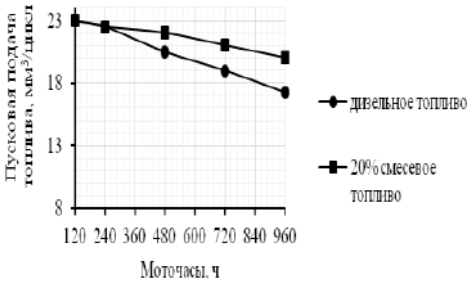


Рисунок 5 – Динамика изменения пусковой подачи топлива в зависимости от моточасов

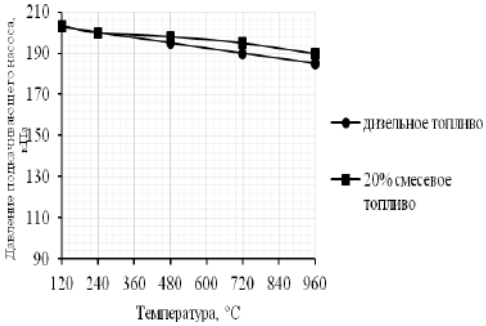


Рисунок 6 – Динамика изменения давление подкачивающего насоса, а в зависимости от моточасов

На рисунке 5 показана динамика падения пусковой подачи ТНВД. Изменение пусковой подачи началось после 120 моточасов наработки. После 120 моточасов происходило постепенное

снижение уровня цикловой подачи. На дизельном топливе более быстрая динамика снижения уровня пусковой подачи. Так после 960 часов наработки ТНВД, работающий на дизельном топливе, имел уровень пусковой подачи чуть более 17 мм^3/цикл. На смесевом – 20 мм^3/цикл.

На рисунке 6 показана динамика падения давления подкачивающего насоса. В ходе испытаний давление не изменялось первые 120 моточасов, далее происходило постепенное снижение давления подкачивающего насоса. На дизельном топливе более быстрая динамика снижения давления. Так после 960 часов наработки подкачивающий насос, работающий на дизельном топливе, имел давление в 190 кПа. На смесевом – чуть более 190 кПа.

Заключение. В ходе исследований установлено, что работа трактора на смесевом дизельном топливе положительно влияет на ресурс основных агрегатов топливной системы, таких как распылители форсунок, плунжерные пары ТНВД, подкачивающий насос. Так в сравнении с аналогичной топливной аппаратурой, работающей на дизельном топливе, после 960 моточасов наработки показатели распылителей форсунок, работающих на смесевом биодизельном топливе выше на 3 %, пусковая подача плунжерных пар – на 13,75%, цикловая подача плунжерных пар – на 4,6%, подкачивающего насоса на 2,6%.

Таким образом, использование смесевого биодизельного топлива совместно с модульным смесителем оказывает положительный эффект на работу и ресурс топливной аппаратуры.

Список литературы

1. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. Исследование работы дизеля на смесевом биодизельном топливе // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: XVIII Международная научно-практическая конференция, Тамбов, 23–24 сентября 2015 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2015. – С. 240-24

2. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Ерохин И.В. Улучшение свойств дизельного топлива за счет применения биодобавок // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 9. – С. 186-187.

3. Получение и испытание смесевого дизельного топлива / А.Н. Зазуля, Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, И.В. Ерохин // Наука в центральной России. – 2015. – № 4(16). – С. 62-69.

4. Метиловый эфир подсолнечного масла как экологический компонент нефтяных моторных топлив / В.А. Марков, С.Н. Девянин, Е.А. Улюкина, Н.Н. Пуляев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 4(46). – С. 29-41.

5. Использование смесей дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла в качестве моторного топлива / В.А. Марков, С.Н. Девянин, Е.А. Улюкина, Н.Н. Пуляев // Грузовик. – 2016. – № 1. – С. 37-48.

6. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Ямчук А.И. Технологии получения биодизельного топлива // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 2. – № 3(17). – С. 109-112.

7. Патент № 2645676 C1 Российская Федерация, МПК C10G 27/12, C10G 32/02, B01J 19/12. Способ очистки дизельного топлива: № 2017110133:заявл. 27.03.2017: опубл. 27.02.2018 / А.Г. Мещеряков, А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов [и др.]; заявитель ФГБНУ ВНИИТиН.

8. Корнев А.Ю., Бусин И.В. Способ комплексной обработки светлых нефтепродуктов, обеспечивающий сохранение и улучшение качества // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник науч. статей по материалам XV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора О. Г. Ангилеева в рамках XXI Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2019», Ставрополь, 14–15 марта 2019 года. – Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2019. – С. 264-270

9. Бусин И. В., Корнев А. Ю. Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива // Наука в центральной России. – 2019. – № 2(38). – С. 123-129.

References

1. Nagornov S.A., Kornev A.YU., Meshcheryakova YU.V. Issledovanie raboty dizelya na smesevom biodizel'nom toplive // Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii - novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva: XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Tambov, 23–24 sentyabrya 2015 goda. – Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2015. – S. 240-24

2. Nagornov S.A., Meshcheryakova YU.V., Erohin I.V. Uluchshenie svojstv dizel'nogo topliva za schet primeneniya biodobavok // Innovacii i investicii. – 2015. – № 9. – S. 186-187.

3. Poluchenie i ispytanie smesevogo dizel'nogo topliva / A.N. Zazulya, YU.V. Meshcheryakova, S.A. Nagornov, I.V. Erohin // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. – № 4(16). – S. 62-69.

4. Metilovyj efir podsolnechnogo masla kak ekologicheskij komponent neftyanyh motornyh topliv / V.A. Markov, S.N. Devyanin, E.A. Ulyukina, N.N. Pulyaev // Transport na al'ternativnom toplive. – 2015. – № 4(46). – S. 29-41.

5. Ispol'zovanie smesej dizel'nogo topliva i metilovogo efira podsolnechnogo masla v kachestve motornogo topliva / B.A. Markov, C.N. Devyanin, E.A. Ulyukina, N.N. Pulyaev // Gruzovik. – 2016. – № 1. – S. 37-48.

6. Sister V.G., Ivannikova E.M., YAmchuk A.I. Tekhnologii polucheniya biodizel'nogo topliva // Izvestiya MGTU MAMI. – 2013. – T. 2. – № 3(17). – S. 109-112.

7. Patent № 2645676 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C10G 27/12, C10G 32/02, B01J 19/12. Sposob ochistki dizel'nogo topliva: № 2017110133:zayavl. 27.03.2017: opubl. 27.02.2018 / A.G. Meshcheryakov, A.YU. Kornev, S.A. Nagornov [i dr.]; zayavitel' FGBNU VNIITiN.

8. Kornev A.YU., Busin I.V. Sposob kompleksnoj obrabotki svetlyh nefteproduktov, obespechivayushchij sohranenie i uluchshenie kachestva // Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: sbornik nauch. statej po materialam XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati professora O. G. Angileeva v ramkah XXI Mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki «Agrouniversal-2019», Stavropol', 14–15 marta 2019 goda. – Stavropol': Izdatel'stvo "AGRUS", 2019. – S. 264-270

9. Busin I. V., Kornev A. YU. Issledovanie vliyaniya effektov mekhanoaktivacii na harakteristiki dizel'nogo topliva // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 2(38). – S. 123-129.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Мещеряков Александр Геннадьевич – соискатель Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: alex_mec@bk.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Мещерякова Юлия Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: yulya-belova@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Meshcheryakov Alexander – applicant, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: alex_mec@bk.ru.

Nagornov Stanislav – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Meshcheryakova Yulia – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: yulya-belova@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 07.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2021

УДК 665.11
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-96-103

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ХОДА РЕАКЦИИ ТРАНСЭТЕРИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ СОСТАВА СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА

[1]Романцова Светлана Валерьевна
[2]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Ликсутина Анна Павловна
[2]Корнев Алексей Юрьевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Смесевое топливо для дизельных двигателей, получаемое при смешении биодизельного и нефтяного дизельного топлива, обладает улучшенными экологическими и эксплуатационными свойствами. При его использовании в аграрном секторе в выхлопных газах сельскохозяйственной техники будет снижено содержание угарного газа, сажи, несгоревших углеводородов, что повысит экологическую чистоту выращиваемых продуктов. Повышение цетанового числа и противоизносных свойств позволит продлить срок эксплуатации техники. Синтез биодизельного топлива проводится по реакции трансэтерификации. Для контроля хода реакции и определения состава биодизельного и смесевого топлива могут использоваться хроматографические, спектрофотометрические и вискозиметрические методы. Методы тонкослойной и бумажной хроматографии не позволяют проводить оперативный мониторинг хода реакции из-за длительности, не очень точны и довольно чувствительны к присутствию воды. Методы газовой и жидкостной хроматографии требуют применения сложного и дорогостоящего оборудования и специальной подготовки для работы на нем. Анализ занимает довольно много времени (до 45 минут). Применение методов колебательной спектроскопии позволяет достичь необходимой точности и оперативности для контроля хода реакции трансэтерификации по изменению интенсивности полосы при 1377 см$^{-1}$. Его применение возможно и для установления примесей глицерина и непрореагировавших моно- и диацилглицеринов в готовом продукте (биодизельном топливе). При определении содержания биодизельного топлива в составе смесевого метод ограничен концентрацией 22,7 % (об.) биодизельного топлива. Для определения доли биодизельного топлива в смесевом топливе можно использовать вискозиметрические методы. Анализ однопараметрического уравнения Грюнберга-Ниссана в отношении вязкости смесевого топлива показал, что между углеводородами нефтяного топлива и молекулами сложных эфиров биодизельного топлива существуют слабые взаимодействия.*

Ключевые слова*: биодизельное топливо, смесевое топливо, ИК-спектроскопия, вискозиметрия.*

METHODS FOR MONITORING THE TRANSESTERIFICATION PROGRESS AND ESTIMATING THE COMPOSITION OF MIXED FUEL

[1]Romantsova Svetlana
[2]Nagornov Stanislav
[2]Lixutina Anna
[2]Kornev Alexey
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin»
[2]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture"

Abstract. *Mixed fuel for diesel engines, obtained by mixing biodiesel and petroleum diesel fuel, has improved environmental and operational properties. When used in the agricultural sector, the content of carbon monoxide, soot, unburned hydrocarbons in the exhaust gases of agricultural machinery will be reduced, which will increase the ecological purity of the grown products. Increasing the cetane number and antiwear properties will extend the service life of the equipment. The synthesis of biodiesel fuel is carried out by the transesterification reaction. Chromatographic, spectrophotometric and viscometric methods can be used to monitor the progress of the reaction and determine the composition of biodiesel and blended fuels. Thin layer and paper chromatography methods do not allow for on-line monitoring of the reaction progress due to the duration, are not very accurate, and are rather sensitive to the presence of water. Gas and liquid chromatography methods require the use of complex and expensive equipment and special training to work on it. The analysis takes quite a long time (up to 45 minutes). The use of vibrational spectroscopy methods makes it possible to achieve the necessary accuracy and efficiency for monitoring the progress of the transesterification reaction by changing the intensity of the band at 1377 cm^{-1}. Its use is also possible for the determination of impurities of glycerin and unreacted mono- and diacylglycerols in the finished product (biodiesel fuel). When determining the content of biodiesel fuel in the composition of the blended method, the concentration is limited to 22.7% (vol.) of biodiesel fuel. Viscometric methods can be used to determine the proportion of biodiesel in blended fuels. Analysis of the one-parameter Grünberg-Nissan equation in relation to the viscosity of the blended fuel showed that there are weak interactions between the hydrocarbons of the fuel oil and the molecules of biodiesel esters.*

Key words: *biodiesel fuel, mixed fuel, IR spectroscopy, viscometry.*

Введение. В последнее время биодизельное топливо постепенно переходит в разряд привычных компонентов топлив для дизельных двигателей. Его добавка к нефтяному дизельному топливу позволяет получить смесевое топливо, которое характеризуется, прежде всего, улучшенными экологическими свойствами за счёт снижения выбросов угарного газа, сажи, несгоревших углеводородов. Также присутствие молекул сложных эфиров метилового или этилового спирта и жирных кислот позволяет улучшить противоизносные свойства смесевого топлива, повысить его цетановое число, упростить ликвидацию проливов, процесс транспортировки и хранения. Агропромышленный комплекс нашей страны заинтересован в более широком внедрении биодизельного топлива, т.к. это повысит экологическую чистоту выращиваемых продуктов и позволит самим предприятиям АПК перерабатывать жидкие и твёрдые жировые отходы в компоненты топлива.

Для мониторинга процесса синтеза и контроля качества синтезированного биодизельного топлива могут применяться различные методы определения состава смесей органических соединений. Это могут быть хроматографические методы, различные виды спектроскопии, гравиметрии, титрования и вискозиметрии [1]. Из всего этого разнообразия необходимо выбрать методы, обеспечивающие необходимую точность, но при этом не требующие сложного и дорогого оборудования, а также длительного времени на проведение анализа.

Цель работы – выбор метода, позволяющего быстро и эффективно определять как состав реакционной смеси для контроля хода реакции трансэтерификации, так и состав готового продукта: биодизельного или смесевого топлива.

Экспериментальная часть.

Для синтеза биодизельного топлива по реакции трансэтерификации использовали методы тонкого органического синтеза в условиях гомогенного щелочного катализа. Сырьём для синтеза образцов биодизельного топлива было масло редьки масличной. Вязкость биодизельного, нефтяного и смесевого топлив определяли в соответствии с требованиями ГОСТ [2].

Запись ИК-спектров осуществляли с помощью прибора «Infralum FT-801».

Результаты и их обсуждение.

Определить состав реакционной смеси в процессе синтеза биодизельного топлива или качество готового продукта можно хроматографическими методами. Самыми дешёвыми и простыми по способу реализации являются бумажная и тонкослойная хроматография (ТСХ). С помощью ТСХ можно различить нефтяные углеводородные фракции смесевого топлива и сложноэфирные молекулы биодизельного топлива. Также можно определить наличие моно-, ди- и триацилглицеринов как в готовом продукте, так и в реакционной массе во время синтеза

биодизельного топлива, т.е. метод позволяет контролировать ход реакции трансэтерификации, оценить целесообразность окончания реакции в тот момент времени, когда достигнута полная конверсия исходного растительного масла или животного жира. При использовании тонкослойной или бумажной хроматографии можно анализировать одновременно несколько образцов реакционной массы или готового смесевого топлива, но скорость продвижения элюента по пластине или бумаге невелика и анализ индивидуального образца может занять 30-50 минут, что сопоставимо со временем протекания реакции трансэтерификации (120-140 минут). Кроме того, методы не позволяют определить покомпонентный состав самого биодизельного топлива (наличие индивидуальных сложных эфиров высших карбоновых кислот), они довольно чувствительны к присутствию воды.

Повысить точность анализа позволяет использование жидкостной или газовой хроматографии. Газовая хроматография позволяет с высокой точностью определить покомпонентный состав биодизельного топлива, оценить наличие примесей: непрореагировавших моно- и диглицеринов, глицерина и т.д. Различными группами исследователей разработаны надёжные методики анализа с помощью данного метода, во многих странах метод стандартизирован [3]. Однако метод требует применения сложного оборудования и специальной подготовки для работы на нем. Анализ занимает довольно много времени (до 45 минут). Даже при использовании самых дешевых колонок для разделения компонентов метод довольно дорогостоящий.

При использовании высокоэффективной жидкостной хроматографии упрощается подготовка образца к анализу, сокращается время анализа, достоинством является и отсутствие необходимости использования внутреннего стандарта. Этот метод является более подходящим для анализа сложных многокомпонентных смесей, поэтому с его помощью можно анализировать биодизельное топливо, для синтеза которого использовали самое разное сырьё растительного или животного происхождения.

Однако и этот метод является дорогостоящим, требует сложного оборудования и продолжительного времени для анализа.

В настоящее время существует много спектроскопических методов, пригодных для анализа органических соединений, в том числе компонентов биодизельного топлива. Часто для этого используют методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и инфракрасной спектроскопии (ИК).

Метод ЯМР отличается очень высокой точностью. Для мониторинга процесса синтеза можно следить за уменьшением интенсивности триплетного сигнала метиленовых групп CH_2, находящихся в α-положениях глицеринового фрагмента триацилглицеринов жира (исходное соединение) или за увеличением интенсивности синглетного сигнала метоксигруппы OCH_3 в продукте реакции. Они находятся в разных областях спектра (2,3 и 3,7 м.д.), не перекрывают друг друга и удобны для наблюдения. Степень конверсии триацилглицеринов можно рассчитать по отношению площадей сигналов метокси- и метиленовой групп. Сдерживает широкое распространение этого метода его сложность, длительность и высокая стоимость оборудования.

Анализ с помощью метода колебательной спектроскопии в ИК-области спектра намного проще, оборудование более компактно и имеет меньшую стоимость. Анализ занимает 5-10 минут (вместе с подготовкой образца), что позволяет использовать его для оперативного контроля за ходом реакции трансэтерификации.

Ещё удобнее использовать этот метод для определения биодизельного топлива в смеси с нефтяным. В отличие от углеводородов нефтяного топлива, молекулы биодизельного топлива представляют собой сложные эфиры, в ИК-спектре базовой полосой для идентификации можно считать валентных колебаний группы С=О, имеющую высокую интенсивность и проявляющуюся в области 1745 $см^{-1}$ (рис. 2) и отсутствующую у углеводородов. В настоящее время метод стандартизован [4].

Мониторинг реакции трансэтерификации осуществлять труднее, т.к. и исходные соединения – триацилглицерины жиров и продукт реакции – компоненты биодизельного топлива относятся к одному и тому же классу органических соединений – сложным эфирам, поэтому их спектры очень похожи и положение полосы валентных колебаний группы С=О идентично (рис. 1 и 2).

При сравнении спектров исходного масла и биодизельного топлива как конечного продукта реакции трансэтерификации выявлена полоса при 1377 $см^{-1}$, чётко проявляющаяся в спектре масла и отсутствующая в спектре биодизельного топлива. Эту полосу можно отнести к деформационным

колебаниям связи между атомами углерода и водорода, находящимися в β-положении глицеринового фрагмента, присутствующего в молекулах триацилглицеринов. В молекулах биодизельного топлива остаток глицерина отсутствует, полоса в спектре не наблюдается. Снижение интенсивности этой полосы в ходе реакции свидетельствует об успешной конверсии исходного соединения, полное исчезновение сигнализирует об окончании реакции трансэтерификации.

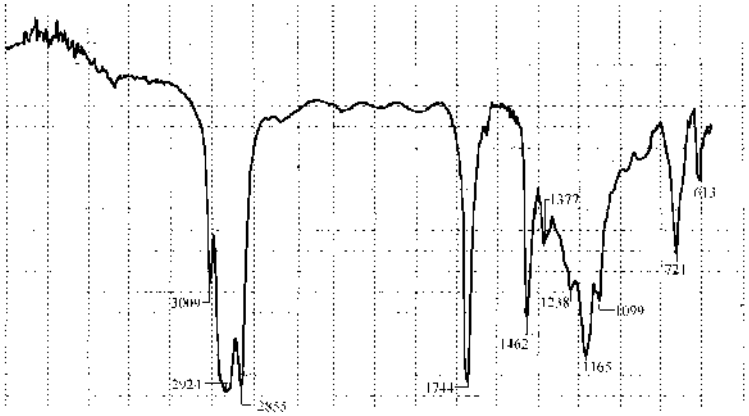


Рисунок 1 – ИК - спектр масла редьки масличной

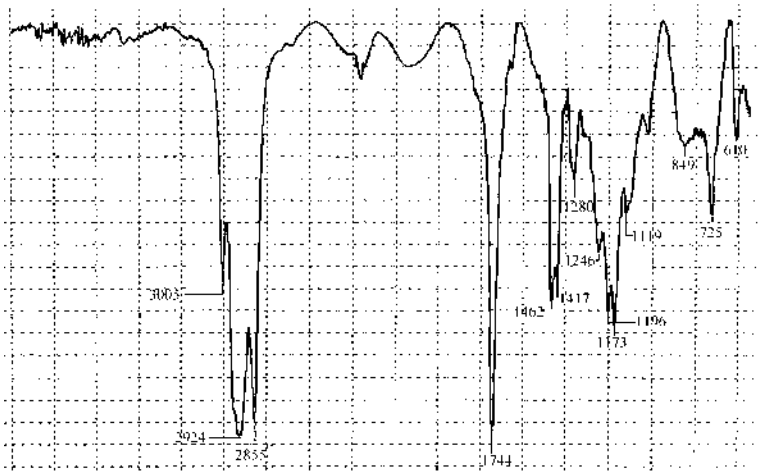


Рисунок 2 – ИК - спектр биодизельного топлива

ИК-спектры также можно использовать для обнаружения примесей в составе биодизельного топлива. Одной из нежелательных примесей являются жирные кислоты, которые увеличивают коррозионную агрессивность топлива, что оказывает негативное влияние на износ деталей двигателя, прежде всего, топливоподающей аппаратуры.

Как показали наши исследования, при концентрации карбоновой кислоты выше 2 % (об), в ИК-спектре наблюдается полоса средней интенсивности в области 1710-1713 см$^{-1}$. Эта полоса связана с валентными колебаниями связи углерода и кислорода в карбоксильной группе. Если концентрация кислоты ниже (от 2 до 1 % по объёму), то полоса в спектре не обнаруживается, но её можно увидеть при вычитании из него спектра образца биодизельного топлива, не содержащего свободных карбоновых кислот.

Стандарт, определяющий технические требования к биодизельному топливу [5] нормирует ограничения содержания таких примесей в биодизельном топливе, как глицерин и остатки непрореагировавших моно- и диацилглицеринов. Наличие последних можно обнаружить по широкой полосе в спектре в области 3470 см$^{-1}$. Вероятно, это полоса, возникающая в результате колебаний гидроксильных групп, содержащихся в продуктах неполной трансэтерификации. Широкую полосу в области 3400 см$^{-1}$ могут дать и валентные колебания гидроксильных групп спиртов – глицерина или метанола (если они присутствуют в качестве примесей в готовом продукте), но при этом обязательно должны наблюдаться полосы при 1115 и 1035-1075 см$^{-1}$, характерные для колебаний, связанных с группой С–О–Н в первичных спиртах.

Видно, что метод колебательной спектроскопии в ИК-области может быть использован как для контроля хода реакции трансэтерификации, так и для определения содержания биодизельного топлива в составе смесевого. Однако в последнем случае метод ограничен концентрацией 22,7 % (об.) биодизельного топлива в смеси с нефтяными углеводородами. ГОСТ Р 53605-2009 [4] говорит о принципиальной возможности определения и более высоких концентраций, но предупреждает об отсутствии данных о прецизионности результатов вне пределов диапазона 1,7 – 22,7 % (об.).

Есть ещё один метод, позволяющий определять концентрацию биодизельного топлива в смеси с нефтяным дизтопливом – вискозиметрия. Вязкость смеси непосредственно зависит от концентрации её компонентов. Кинематическая вязкость триацилглицеринов растительного масла очень сильно отличается от вязкости дизельного топлива. Даже при 40 °С она находится в интервале 27-37 мм^2/с, что на порядок выше той же характеристики дизельного топлива. Поэтому растительные масла в непереработанном виде не используют в качестве топлива для дизельных двигателей [6]. В результате проведения реакции трансэтерификации молекулы триацилглицеринов масел превращаются в метиловые (или этиловые) эфиры высших алифатических кислот, размер которых примерно в 3 раза меньше, что приводит к значительному снижению вязкости (5-10 мм^2/с при 20 °С и 3-5 мм^2/с при 40 °С) [7]. Но вязкость биодизельного топлива всё же немного выше, чем у нефтяного топлива, т.к. размеры и межмолекулярные силы взаимодействия углеводородов нефтяного топлива меньше, чем у сложноэфирных молекул. Этому существует закономерное объяснение. Молекулы углеводородов практически неполярны, между ними могут существовать только самые слабые силы межмолекулярного взаимодействия – силы Ван-дер-Ваальса. Более электроотрицательные атомы кислорода сложноэфирной группы молекул биодизельного топлива вызывают сдвиг электронной плотности связи С–О в сторону атома кислорода, в результате на нём образуется избыток электронной плотности, а на атоме углерода – её недостаток. Поляризация связи приводит к возникновению между молекулами сложных эфиров и другого вида межмолекулярного взаимодействия – электростатического.

Различия в величине кинематической вязкости позволяют определять содержание биодизельного топлива в смеси с нефтяным.

Существуют различные расчётные формулы, позволяющие рассчитать вязкость бинарной смеси. Например, однопараметрическое уравнение Грюнберга-Ниссана (1):

$$ln\ \eta_{см} = w_1 \cdot ln(\eta_1) + w_2 \cdot ln(\eta_2) + w_1 \cdot w_2 \cdot G_{12} \quad (1)$$

где $\eta_{см}$ – кинематическая вязкость смеси (например, смесевого топлива) мм^2/с, η_1 *и* η_2 – кинематические вязкости биодизельного и нефтяного топлива, w_1 и w_2 – массовые доли этих топлив в смеси (смесевом топливе), G_{12} – параметр, характеризующий взаимодействие компонентов смеси друг с другом.

Если значения параметра взаимодействия Грюнберга-Ниссана (G_{12}) положительны, взаимодействия между разнородными молекулами сильны, а отрицательные значения означают слабые взаимодействия.

На рисунке 3 представлены зависимости кинематической вязкости смесевого топлива от массовой доли биодизельного топлива в нём. Вязкость была измерена при 20 °С и 40 °С. Имея такой график, по вязкости смесевого топлива можно легко определить содержание биодизельного топлива в нём. Были рассчитаны величины параметра взаимодействия Грюнберга-Ниссана для обеих температур, они составили -0,25 и -0,14 при 20 °С и 40 °С соответственно. Отрицательные

величины данного параметра свидетельствуют о наличии слабых взаимодействий между углеводородами нефтяного топлива и молекулами сложных эфиров биодизельного топлива.

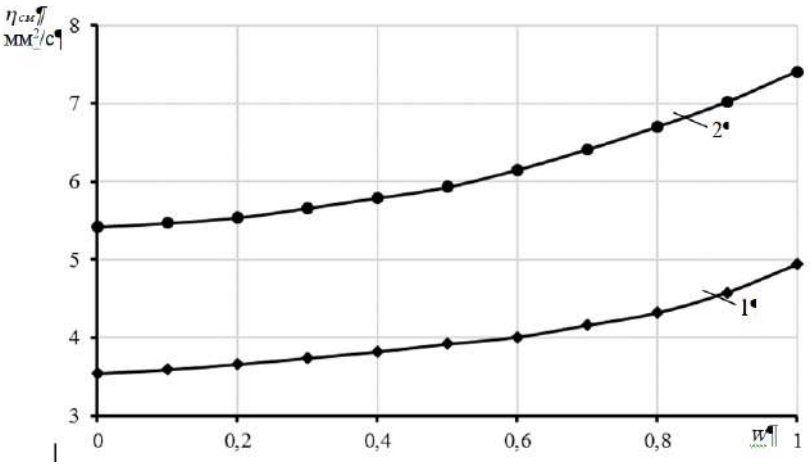


Рисунок 3 – Зависимость вязкости смесевого топлива от массовой доли биодизельного топлива: 1 – 40 °С; 2 – 20 °С.

Различия в величине кинематической вязкости между исходным веществом в реакции трансэтерификации (растительное масло) и продуктом реакции (биодизельное топливо) намного больше, чем между молекулами нефтяного и биодизельного топлива. Присутствие непрореагировавшего растительного масла окажет заметное влияние на вязкость реакционной смеси. Следовательно, величину вязкости можно использовать и для оперативного контроля за ходом реакции трансэтерификации. Время определения величины вязкости составляет 2-3 минуты.

Как показано в работах [8], массовая доля метиловых эфиров в образцах биодизельного топлива линейно зависит от логарифма величины кинематической вязкости (1):

$$w = A \cdot ln(\eta) + B \qquad (2)$$

где η – кинематическая вязкость реакционной массы, мм^2/с, w – массовая доля биодизельного топлива в реакционной массе.

Величины А и В определяются экспериментально и зависят от условий протекания реакции (температура, тип катализатора, мольное соотношение масло: метанол и т.д.)

Заключение. Изучены методы контроля хода реакции трансэтерификации и оценки состава смесевого топлива. Показано, что для этих целей могут использоваться хроматографические, спектрофотометрические и вискозиметрические методы.

Исследование спектров исходных веществ и продуктов реакции показало, что необходимую точность и оперативность для контроля хода реакции трансэтерификации может обеспечить спектроскопия в ИК-диапазоне.

Определено, что для определения доли биодизельного топлива в смесевом топливе можно использовать вискозиметрические методы.

Анализ однопараметрического уравнения Грюнберга-Ниссана в отношении вязкости смесевого топлива показал, что между углеводородами нефтяного топлива и молекулами сложных эфиров биодизельного топлива существуют слабые взаимодействия.

Список литературы

1. Berchmans H.J., Morishita K., Takarada T. Kinetic study of hydroxide-catalyzed methanolysis of Jatropha curcas-waste food oil mixture for biodiesel production // Fuel, 2013. – № 104. – P. 46-52.

2. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. – М.: Стандартинформ, 2017. – 39 с.

3. ГОСТ 33018-2014. Топливо базовое биодизельное В100. Определение общего содержания моноглицеридов, диглицеридов, триглицеридов, свободного и общего глицерина газовой хроматографией. – М.: Стандартинформ, 2015. – 20 с.

4. ГОСТ Р ЕН 14078- 2010. Нефтепродукты жидкие. Определение метиловых эфиров жирных кислот (FAME) в средних дистиллятах методом инфракрасной спектроскопии. – М.: Стандартинформ, 2012. – 10 с.

5. ГОСТ Р 53605-2009. Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метиловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технических требования. – М.: Стандартинформ, 2010. – 15 с.

6. Knothe G. Biodiesel and renewable diesel: a comparison // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – № 36. – P. 364-373.

7. Methods for changing the composition and properties of biodiesel / Romantsova S.V., Nagornov S.A., Kornev A.Y., Sinyutina S.Y.// Journal of Agriculture and Environment. – 2019. – № 4 (12). – P. 70-77.

8. Sousa F.P., Luciano M.A., Pasa V.M.D. Thermogravimetry and viscometry for assessing the ester content (FAME and FAEE) // Fuel Processing Technology. – 2013. – № 109. – P. 133-140.

References

1. Berchmans H.J., Morishita K., Takarada T. Kinetic study of hydroxide-catalyzed methanolysis of Jatropha curcas-waste food oil mixture for biodiesel production // Fuel, 2013. – № 104. – P. 46-52.

2. GOST 33-2016. Neft' i nefteprodukty. Prozrachnyye i neprozrachnyye zhidkosti. Opredeleniye kinematicheskoy i dinamicheskoy vyazkosti. – M.: Standartinform, 2017. – 39 s.

3. GOST 33018-2014. Toplivo bazovoye biodizel'noye V100. Opredeleniye obshchego soderzhaniya monoglitseridov, diglitseridov, triglitseridov, svobodnogo i obshchego glitserina gazovoy khromatografiyey. – M.: Standartinform, 2015. – 20 s.

4. GOST R YEN 14078- 2010. Nefteprodukty zhidkiye. Opredeleniye metilovykh efirov zhirnykh kislot (FAME) v srednikh distillyatakh metodom infrakrasnoy spektroskopii. – M.: Standartinform, 2012. – 10 s.

5. GOST R 53605-2009. Toplivo dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya. Metilovyye efiry zhirnykh kislot (FAME) dlya dizel'nykh dvigateley. Obshchiye tekhnicheskikh trebovaniya. – M.: Standartinform, 2010. – 15 s.

6. Knothe G. Biodiesel and renewable diesel: a comparison // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – № 36. – P. 364-373.

7. Methods for changing the composition and properties of biodiesel / Romantsova S.V., Nagornov S.A., Kornev A.Y., Sinyutina S.Y. // Journal of Agriculture and Environment. – 2019. – № 4 (12). – P. 70-77.

8. Sousa F.P., Luciano M.A., Pasa V.M.D. Thermogravimetry and viscometry for assessing the ester content (FAME and FAEE) // Fuel Processing Technology. – 2013. – № 109. – P. 133-140.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Author credentials

Affiliations

Romantsova Svetlana – Candidate of chemical sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Nagornov Stanislav – Full Doctor of Technical sciences, Professor, Chief Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Lixutina Anna – Candidate of Technical sciences, Leading Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru.

Kornev Alexey – Candidate of Technical sciences, Chief Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 07.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2021

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.10.2021. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 10,92 усл. печ. л. Тираж 100 экз.