В этом году исполняется 80 лет Тамбовской области. Ведущим сектором экономики региона является сельское хозяйство. В агропромышленном комплексе Тамбовской области производится более 27% валового регионального продукта. В селе проживает около 40% населения области. В 2016 году всеми категориями хозяйств области произведено продукции растениеводства: зерновые и зернобобовые культуры – 3 250,4 тыс. тонн; сахарная свекла – около 4 506,2 тыс. тонн; подсолнечник на зерно – около 625,8 тыс. тонн в физическом весе; картофель – 484,2 тыс. тонн; овощи (включая закрытый грунт) – 119,1 тыс. тонн; плодово-ягодные культуры – 22,2 тыс. тонн. Первый заместитель главы администрации Тамбовской области А.Я. Дубовик в своем поздравлении коллективу ФГБНУ ВНИИТиН по случаю его 35-летия подчеркнул, что «Институт оказывает неоценимую помощь в развитии АПК Тамбовской области: во многих достижениях наших аграриев есть большой вклад ученых ВНИИТиН. Областное Управление сельского хозяйства широко использует результаты работы ученых института по созданию передовых инновационных технологий механизации сельскохозяйственных работ, эффективного использования топливно-смазочных материалов, получения биотоплива и многих других, не имеющих аналогов в мире».

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ!

19 августа 2017 года Вигдоровичу Владимиру Ильичу, доктору химических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки и техники РФ, исполнилось 80 лет.

Дорогой Владимир Ильич! Мы, Ваши друзья и коллеги - сотрудники ФГБНУ ВНИИТиН и редколлегия научно-производственного журнала «Наука в центральной России», сердечно поздравляем Вас со славным юбилеем – 80-летием со дня Вашего рождения!

В эти, столь знаменательные для Вас дни, мы хотели бы присоединить наши поздравления ко всем пожеланиям Вам и Вашим близким добра, счастья и здоровья.

Все, кому довелось работать с Вами, отмечают присуще Вам высочайший профессионализм и компетентность, чувство ответственности за порученное дело. Ваши знания в области консервационных антикоррозионных материалов в полной мере помогают Российским предприятиям найти правильное решение производственных задач.

Нельзя объять необъятное и пытаться даже кратко отметить Вашу огромную, и нередко решающую, роль в развитии науки, техники и образования. Мы знаем Вас, дорогой Владимир Ильич, как выдающегося ученого в области развития коррозионной науки, развившего направление «Электрохимия и коррозия металлов в неводных средах», автора нового научного направления «Разработка научных основ создания малокомпонентных консервационных антикоррозионных материалов», создавшего новую, единственную в регионе специализацию «Охрана окружающей среды, химическая экспертиза и экологическая безопасность», члена Ученой комиссии по химии Министерства просвещения РСФСР. В этих областях Вам принадлежат фундаментальные результаты, получившие международное признание.

Ваша тематика была включена в координационные планы НИР Комитета по народному образованию СССР и план исследований Министерства образования РСФСР на 12 пятилетку по проблеме «Защита металлов от коррозии». Вы руководите выполнением проектов Министерства образования и получаете финансовую поддержку для научных исследований в виде грантов РФФИ, являетесь председателем докторского диссертационного совета Д 212.261.02 по специальности 05.17.03 – «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии».

Ваша неиссякаемая энергия и целеустремленность позволили Всероссийскому обществу коррозионистов занять достойное место в профессиональном сообществе не только в России, но и за рубежом. Ваши научные достижения и разработки Ваших многочисленных учеников созданной Вами научной школы получили заслуженное международное признание. Признанием уникальности и большой научной значимости этих работ явилось вручение Вам золотой медали Всероссийского общества коррозионистов за выдающийся вклад в развитие отечественной и мировой коррозионной науки и успехи в педагогической деятельности.

Ваш юбилей – это новая точка отсчета больших дел и новых трудовых свершений, которые предстоит осуществить Вам – человеку, масштаб личности и высокие профессиональные качества которого трудно переоценить. Уверены, что Ваша неиссякаемая энергия принесет еще много пользы в нашем общем деле, приумножая и улучшая результаты.

От всей души мы желаем крепкого здоровья Вам, дорогой Владимир Ильич, и Вашим близким, неиссякаемой жизненной энергии, оптимизма, удачи во всех Ваших делах и начинаниях, новых научных достижений и поставленных целей, ярких профессиональных успехов, преодоления жизненных трудностей, бодрости духа! Пусть тепло семейного очага всегда защищает Вас от жизненных невзгод, а будущее готовит много лет, наполненных добрыми событиями, здоровьем, радостью и счастьем!

С глубоким уважением, от имени и по поручению коллектива
редколлегии и редакции журнала «Наука в центральной России»,
главный редактор журнала, директор ФГБНУ ВНИИТиН А.Н. Зазуля

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine
Включен в международную базу данных Agris
№4 (28), 2017 г.

Основан в 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»

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич — главный редактор, доктор технических наук, профессор, директор ФГБНУ ВНИИТиН
НАГОРНОВ Станислав Александрович — зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН
ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. отделом ФГБНУ «Росинформагротех»
ГОРБАЧЕВ Иван Васильевич — член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева
ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ
ЖАЛНИН Эдуард Викторович — доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович — академик РАН, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО МичГАУ
КНЯЗЕВА Лариса Геннадиевна — доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН
ЛАРЮШИН Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВПО «Пензенский ГАУ»
ЛЯЛЯКИН Валентин Павлович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
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
ПОПОВ Владимир Дмитриевич — академик РАН, доктор технических наук, профессор, президент Региональной областной организации "Санкт-Петербургская ассоциация инженеров сельского хозяйства – СПАИСХ", член Правления Ассоциации содействия полевым экспериментам и исследованиям, директор ФГБНУ «ИАЭП»
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 и техники РФ, директор ФГБНУ «Росинформагротех»
REZA Ambrishambaf — PhD, Vice Rector of Eastern Mediterranean University, Centro Algoritmi University of Minho Campus of Azurem, Portugal
MAJID Hashemipour — PhD Manufacturing Engineering, Professor, Vice Rector for Technical Administration and International Affairs of Eastern Mediterranean University, Turkey

Редакция

Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: ФГБНУ ВНИИТИН
Главный редактор: Зазуля А.Н.
№ 4 (28) 21.08.2017, Тираж - 100 экз. Свободная цена
Адрес редакции и издателя: **392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, к. 21,** тел. 8(4752)440-241; e-mail: naukacr@yandex.ru
Отпечатано в типографии ООО «Максимал информационные технологии» 398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
СМИ зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.
Технический редактор: Левина Эмма Владимировна**, тел. +7 (920) 246-20-64**
Зав. отделом по развитию: Левин Максим Юрьевич**, тел. +7 (920) 240-71-96**

© «Наука в центральной России», 2017

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» **«SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»**
Научно-производственный периодический журнал The research-and-production periodic magazine
№4 (28), 2017 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)

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

технологии в животноводстве и растениеводстве, эффективное использование отечественной и зарубежной сельскохозяйственной техники

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич — доктор технических наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ ВНИИТиН
ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией использования альтернативных источников энергии взамен жидкого топлива, ФГБНУ ВНИИТиН
ПЕТРАШЕВ Александр Иванович — доктор технических наук, зав. лабораторией организации хранения и защиты техники от коррозии, ФГБНУ ВНИИТиН
ЕРОХИН Геннадий Николаевич — кандидат технических наук, зав. лабораторией эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике, ФГБНУ ВНИИТиН

Технология продовольственных продуктов

ТИШАНИНОВ Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве, ФГБНУ ВНИИТиН
ДОРОВСКИХ Владимир Иванович — кандидат технических наук, зав. лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве, ФГБНУ ВНИИТиН

Агрономия

ТРУНОВ Юрий Викторович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский институт садоводства им. И.В. Мичурина

Ветеринария и Зоотехния

ЭНГОВАТОВ Вячеслав Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии производства свинины, ФГБНУ ВНИИТиН
ШУЛАЕВ Геннадий Михайлович — кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией технологии производства свинины, ФГБНУ ВНИИТиН
ФИЛИППОВА Ольга Борисовна — кандидат биологических наук, зав. лабораторией технологии производства молока и говядины, ФГБНУ ВНИИТиН

Экономика и управление народным хозяйством (АПК и сельское хозяйство)

САЗОНОВ Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах, ФГБНУ ВНИИТиН
СОЛОПОВ Владимир Алексеевич — доктор экономических наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО МичГАУ

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.
© «Наука в центральной России», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Зазуля Александр Николаевич
О РОЛИ ВНИИТИН В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ 7
Zazulya Alexander
ABOUT THE ROLE VNIITIN IN THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN TAMBOV REGION 7
Остриков Валерий Васильевич, Афанасьев Дмитрий Игоревич, Снежко Владимир Андреевич, Снежко Андрей Владимирович
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ОБКАТКЕ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ 19
Ostrikov Valery, Afanasiev Dmitry, Snezhko Vladimir, Snezhko Andrei
THEORETICAL PREREQUISITES OF USE PROCESSED MOTOR OILS AT RUNNING REPAIRED TRACTOR ENGINES 19
Волошин Игорь Владимирович, Ларюшин Николай Петрович, Шумаев Василий Викторович, Ванин Дмитрий Владимирович, Кирюхина Татьяна Александровна
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА ДЛЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР 30
Voloshin Igor, Larushin Nicolai, Shumaev Vasiliy, Vanin Dmitriy, Kiryukhina Tatyana
THEORETICAL RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF WORK OF COMBINED COVER FOR SOWING OF GRAIN CROPS 31
Доровских Владимир Иванович, Доровских Дмитрий Владимирович
ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОЕНИЯ 37
Dorovskih Vladimir, Dorovskih Dmitry
INCREASE OF COW PRODUCTIVITY AT ACCOUNT PROVISION OF QUALITY OF MILKING 38
Доровских Владимир Иванович, Доровских Дмитрий Владимирович
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ПРИ ЕЕ УСТАНОВКЕ В ДОИЛЬНЫЙ СТАКАН 43
Dorovskih Vladimir, Dorovskih Dmitry
RESEARCH OF RELAXATION OF TENSION OF NIPPLE RUBBER AT ITS INSTALLATION INTO THE TEAT CUP 44
Ерохин Геннадий Николаевич, Коновский Валерий Викторович
МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ 49
Erokhin Gennady, Konovskiy Valery
MODEL THE USE OF COMBINE HARVESTERS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES 50
Кийко Елена Ильинична, Филиппова Ольга Борисовна
МОЛОЧНОЕ СКОТОВОДСТВО В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ 56
Kiyko Elena, Filippova Olga
DAIRY CATTLE BREEDING IN THE TAMBOV REGION 57
Нагорнов Станислав Александрович, Корнев Алексей Юрьевич, Мещерякова Юлия Владимировна, Мещеряков Александр Геннадьевич, Романцова Светлана Валерьевна, Алибаев Батырбек Тулегенович
УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ БИОМАССЫ 61
Nagornov Stanislav, Kornev Alexey, Meshcheryakova Julia, Mescheryakov Alexander, Romantsova Svetlana, Alibaev Batyrbek
IMPROVEMENT THE QUALITY OF DIESEL FUELS IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF DIESEL FUELS THROUGH THE USE OF COMPONENTS BASED ON RENEWABLE BIOMASS 62
Петрашев Александр Иванович, Князева Лариса Геннадьевна, Губашева Алмагуль Мустафаевна
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПОРОВ В КОНСЕРВАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ НАГРЕВЕ В РЕЗЕРВУАРЕ С ЦОКОЛЬНЫМ ОТСЕКОМ 71
Petrashev Alexandr, Knyazeva Larisa, Gubasheva Almagul
INVESTIGATION OF HYDROSTATIC HEAD IN THE CONSERVATIVE LIQUID WHEN HEATED IN TANK WITH A SOCLE SECTION 72

Сазонова Дамира Давидовна, Сазонов Сергей Николаевич
АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ, ОТРАЖАЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ..... 81
Sazonova Damira, Sazonov Sergei
ANALYSIS OF PRODUCTION FUNCTION THAT DESCRIBES EFFICIENCY OF PRODUCTION RESOURCES USE IN FARMING ENTERPISES 82
Тишанинов Николай Петрович, Анашкин Александр Витальевич
АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНОСМЕСЕЙ..... 88
Tishaninov Nikolay, Anashkin Alexander
THE ANALYSIS OF THE METHODS OF QUALITY MANAGEMENT SCREENING OF GRAIN MIXTURES..... 89
Тишанинов Константин Николаевич
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ГРОХОТА 94
Tishaninov Konstantin
THEORETICAL JUSTIFICATION FOR THE SPEED LIMIT OF THE SCREEN 95
Тишанинов Николай Петрович, Анашкин Александр Витальевич
ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕГКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ..... 104
Tishaninov Nikolay, Anashkin Alexander
THE RATIONALE FOR THE LENGTH OF THE CELLULAR SURFACE FOR SEPARATION OF LIGHT IMPURITIES FROM MIXTURES OF GRAINS 105
Шувалов Анатолий Михайлович, Машков Алексей Николаевич
СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ СОИ 111
Shuvalov Anatoliy, Mashkov Alexey
WAYS OF DECREASE IN ENERGY CONSUMPTION AT THERMAL TREATMENT OF SOY 111
Щученков Алексей Юрьевич, Ларюшин Николай Петрович, Шумаев Василий Викторович, Родин Александр Сергеевич, Кирюхина Татьяна Александровна
ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ С ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ С КАТУШКОЙ СЕКЦИОННОГО ТИПА..... 115
Shchuchenkov Aleksey, Larushin Nicolai, Shumaev Vasiliy, Rodin Alexander, Kiryukhina Tatyana
FIELD STUDIES OF SEED WITH SOWING MACHINE WITH SECTION TYPE COIL..... 116
Левин Максим Юрьевич, Нагорнов Станислав Александрович, Левина Екатерина Юрьевна
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ТОПЛИВА ИЗ НАЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ..... 121
Levin Maxim, Nagornov Stanislav, Levina Ekaterina
THE FEATURES OF THE PROCESS OF EVAPORATION OF FUEL FROM ABOVEGROUND HORIZONTAL TANKS..... 121
Жачкин Сергей Юрьевич, Пеньков Никита Алексеевич, Трифонов Григорий Игоревич
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬХОЗМАШИН..... 131
Zhachkin Sergey,Penkov Nikita, Trifonov Gregory
APPLICATION OF PLASMA SPRAYING TECHNOLOGY FOR IMPROVING OPERATIONAL RELIABILITY AGRICULTURAL MACHINERY 131

УДК 620.197.7: 631.171

О РОЛИ ВНИИТИН В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Зазуля Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор, директор,
Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация,
e-mail: viitin-adm@mail.ru.

Реферат. *Рассмотрены основные причины, сдерживающие переход сельского хозяйства к инновационной модели развития, показано место в ней системы использования техники и нефтепродуктов. Подчеркнуто, что ФГБНУ ВНИИТиН заполняет нишу между производителями техники и теми, кто ее использует. Приведены основные направления научных исследований сотрудников института. Показана их роль в развитии сельскохозяйственного производства. Приведены экономические эффекты от внедрения разработок в сельском хозяйстве. Намечены дальнейшие пути развития института. Обосновано, что дальнейшее развитие системы использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве непосредственно связано с научно-исследовательскими работами сотрудников ФГБНУ ВНИИТиН.*

Ключевые слова*: эффективность, техника, использование, разработка, моторное топливо, нефтепродукты, сельское хозяйство, экономия.*

ABOUT THE ROLE VNIITIN IN THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN TAMBOV REGION

Zazulya Alexander,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, All-Russian scientific research institute of use equipment and oil products in agriculture, Tambov, Russian Federation,
e-mail: viitin-adm@mail.ru

Abstract. *The main reasons restraining the transition of agriculture to the innovative model of development are considered, and the place in it of the system for the use of machinery and oil products is shown. It is emphasized that the FGBNU VNIITiN fills a niche between the producers of equipment and those who use it. The basic directions of scientific researches of the Institute employees are given. Their role in the development of agricultural production is shown. The economic effects of the introduction of developments in agriculture are presented. Further ways of development of the institute are outlined. It is substantiated that the further development of the system of the use of machinery and oil products in agriculture is directly connected with the research work of the staff of the FGBIO VNIITiN.*

Keywords: *efficiency, technology, use, development, motor fuel, oil products, agriculture, economy.*

27 сентября 1937 года была образована Тамбовская область, которой в этом году исполняется 80 лет. История развития нашей области неразрывно связана со становлением регионального АПК.

Сельское хозяйство является одной из ведущих системообразующих сфер экономики страны, формирующей продовольственную и экономическую безопасность. По прогнозным оценкам специалистов, в результате увеличения численности населения и душевых доходов к 2050 году

глобальное производство продукции АПК должно вырасти на 60-70% по сравнению с началом XXI века. Ключевые требования к направлениям развития отечественного АПК определены в Послании Президента России Федеральному Собранию Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. Основная задача – к 2020 г. полностью обеспечить внутренний рынок отечественным конкурентоспособным продовольствием, а в долгосрочной перспективе – стать крупнейшим мировым поставщиком сельскохозяйственной продукции.

Тамбовские сельскохозяйственные товаропроизводители вносят существенный вклад как в продовольственную корзину Центрального федерального округа, так и в обеспечение продовольственной безопасности России в целом. За прошедшие 80 лет сельские труженики добились хороших результатов. Ведущую роль в региональном сельскохозяйственном производстве занимает зерновое хозяйство, поскольку производство зерна в стране – наиболее рентабельный вид сельскохозяйственной деятельности.

Несмотря на то, что регион занимает передовые позиции по производству некоторых видов зерновых и технических культур, имеется ряд факторов, сдерживающих развитие регионального АПК. Основными из них являются: использование малопроизводительного, устаревшего оборудования; недостаточная государственная поддержка предприятий, направленная на модернизацию и техническое перевооружение; недостаток собственных средств предприятий, сдерживающий внедрение новых технологий, технического перевооружения и модернизации производства; постоянное повышение цен на энергоносители.

Решением большинства из перечисленных факторов ранее занималась инженерно-техническая система АПК, основная роль которой заключалась в обеспечении реальных технологически обусловленных потребностей сельского хозяйства в машинных работах. Однако, после прекращения действия ФЗ-№100 «Об инженерно-технической системе АПК» во многих сельхозпредприятиях ликвидированы службы главного инженера, обеспечивающие рациональное построение и использование техники и оборудования.

Вместе с тем, успешное решение в достижении целей продовольственной безопасности страны, в первую очередь, зависит от обеспеченности АПК материально-техническими ресурсами, определяющими уровень интенсивности развития сельского хозяйства, производительности труда и конкурентоспособность отрасли.

В настоящее время многие сельскохозяйственные предприятия не имеют возможности самостоятельно проектировать экономически выгодные технологии, подобрать технику, которая производится в различных регионах, не могут эффективно использовать новую технику. Хозяйствам сложно подобрать оптимальный набор машин, служба мониторинга в регионах пока не развита.

Обеспечение сельскохозяйственного производства техническими средствами до сих пор остается в критическом состоянии. Новой конкурентоспособной техники создается мало, и поэтому отечественное сельхозпроизводство продолжает зависеть от дорогостоящего импорта техники. В то же время покупательная способность сельхозорганизаций и крестьян повышается медленно, долгосрочных кредитов выделяется недостаточно, лизинговые возможности ограничены.

В соответствии с Госпрограммой на 2013-2020 годы поступательное социально-экономическое развитие агропромышленного комплекса в целом должно осуществляться на основе его модернизации и перехода к инновационной модели функционирования.

Модернизации последней трети XX века начались в условиях, когда ведущие глобальные игроки уже переросли индустриальный этап развития и не были склонны к дальнейшим

мобилизациям. В такой ситуации соперничать с ними по уровню экономического развития не представляется возможным, а задачей модернизации выступает не достижение определенных экономических показателей, а формирование хозяйственной системы, которая способна к устойчивому эволюционному развитию и не требует необходимости дальнейших мобилизаций. Эффективная модернизация — это та, которая исключает в будущем необходимость все новых и новых модернизаций.

В отличие от модернизации инноватизация производства – это качественные преобразования используемых ресурсов и процессов в производстве продуктов через введение в процесс новых знаний, до этого в данном производстве не используемых.

Инноватизация в инженерно-технической сфере – это замена, например, парка машин новым поколением техники. Техника служит краеугольным элементом современных машинных технологий производства продукции и в ней заложены основные ресурсы знаний. Здесь простым количественным наращиванием ресурсов в сельское хозяйство, и прежде всего, технических, задачу обеспечения продовольственной безопасности не решить.

Одно из главных препятствий на этом пути – отсутствие соответствующих кадров (механизаторов растениеводства и операторов животноводства), которые должны осуществлять управление машинными системами и их контроль.

Современные технологии сельхозпроизводства наряду с заложенными в них новыми знаниями требуют высокой точности, прецизионности выполнения процессов, которые невозможно выполнить при «ручном» управлении агрегатом с его невысокими быстродействием и реакций. Здесь нужно использовать цифровые ресурсы. По мнению академика Краснощекова Н.В., для интеллектуализации продукционных машинных процессов растениеводства требуется создание системы управления посевным комплексом работ на базе многофункционального почвообрабатывающе-посевного агрегата, наряду с созданием инновационных почвообрабатывающих машин, подстраивая их функции под изменяющиеся ландшафтные характеристики полевых работ. Однако отечественных научно-технических идей и решений по развитию этой проблемы пока явно не хватает. В этих условиях, чтобы система сельскохозяйственной техники была полной, эффективной, развивающейся и способной удовлетворять потребности сельскохозяйственных тружеников потребуются немалые усилий ученых для разработки научно обоснованных мер трансформации АПК в ведущую системообразующую сферу экономики страны.

Технологии производства сельскохозяйственной продукции являются основой эффективного получения продукции посредством использования технических средств, обусловливают уровень продуктивности и величину валового производства продукции. Известно, что существующая машина любого класса и типоразмера, для которой созданы условия для реализации ее потенциальных (теоретических) возможностей принесет прибыль хозяйству. В то же время любая, самая мощная и потенциально производительная техника может принести убытки хозяйству, если она не реализует в реальных условиях машиноиспользования свои потенциальные возможности. Таким образом, наиболее важными направлениями развития сельскохозяйственного производства являются повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники и топливно-смазывающих материалов.

В условиях усиливающейся интервенции зарубежного продовольствия и сельскохозяйственной техники наиболее перспективным является инновационный путь развития, отвечающий общемировым тенденциям и требующий подготовки нового поколения высококвалифицированных специалистов, готовых к осуществлению инновационной

деятельности в условиях рыночной экономики. Поэтому система использования техники и топливно-смазочных материалов в сельском хозяйстве как объект для перевода отрасли на научную основу для эффективного функционирования и ресурсосбережения АПК требует глубоких знаний. Решение этой ключевой проблемы непосредственно связано как с выполнением комплексных исследований достаточно сложной трехуровневой системы «Технология – Техника – Энергоресурсы», так и с непрерывным проведением мониторинга состояния используемых в сельском хозяйстве техники и топливно-смазочных материалов. Потребуется разработка замкнутых, практически безотходных, энергоресурсосберегающих технологических процессов, стремительный поворот от использования традиционных (невозобновляемых) источников энергии к применению альтернативных (возобновляемых).

Еще на заре индустриализации сельского хозяйства этой проблеме начали отводить особое место. С тех пор практика показала, что научная сеть инженерно-технической сферы должна иметь определенную специализацию в указанном направлении. Основы теории машиноиспользования заложены академиком В.П. Горячкиным. Дальнейшее формирование этого направления непосредственной связано с научно-исследовательскими работами сотрудников ВНИИТиНа, которые внесли немалый вклад в развитие агроинженерной науки.

В составе института функционируют 11 научно-исследовательских лабораторий, занимающихся решением проблем повышения эффективности использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве.

Институт осуществляет проведение фундаментальных, поисковых и приоритетных прикладных научных исследований, направленных на получения новых знаний в сфере агропромышленного комплекса, способствующих его технологическому, инженерно-техническому, экономическому развитию. В отличие от других институтов, входящих в состав отделения механизации отделения сельскохозяйственных наук РАН, ФГБНУ ВНИИТиН единственный заполняет нишу между производителями техники и теми, кто ее использует. Большинство, научных институтов данного профиля ориентированы на проблему эксплуатации техники с точки зрения ее использования при оптимальных технических параметрах, заложенных конструкторами при разработке. При этом игнорируются вообще или рассматриваются в очень урезанном виде фактические условия и возможности сельскохозяйственных товаропроизводителей, связанные с объективными условиями хозяйствования и реальными технологическими процессами производства продукции. ФГБНУ ВНИИТиН в своих исследованиях ставит на первое место не условия достижения максимальной технической эффективности отдельной машины, а достижение максимального технологического эффекта у сельскохозяйственного производителя в реальных условиях хозяйствования и использования всего технологического комплекса.

Институт осуществляет поиск перспективных научно обоснованных путей повышения эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции; реализацию приоритетных направлений и критических технологий; разработку и внедрение принципиально новых технических средств с высокой производительностью, технологической надежностью, меньшими затратами энергии на единицу сельскохозяйственной продукции; освоение прорывных инновационных технологий и техники нового поколения; изучение, обобщение и распространение достижений агроинженерной науки для ускоренного освоения в практике сельскохозяйственных производителей; создание новых инновационных технологий и техники нового поколения для растениеводства и животноводства; пути реализации критических

технологий и приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации.

ФГБНУ ВНИИТиН был и остается институтом, который работает, прежде всего, непосредственно в интересах АПК, опираясь на выстроенные в течение 37 лет крепкие связи с сельскохозяйственными товаропроизводителями всех без исключения организационно-правовых форм, сложившихся в настоящее время, начиная от фермерских хозяйств и кончая агрохолдингами.

За последние годы сотрудниками лабораторий института:

1) разработаны методы и системы управления качеством технологических процессов в животноводстве; алгоритмы и компьютерные программы оценки эффективности использования машинных технологий в животноводстве; методы оценки пригодности коров к машинному доению. Большое внимание уделяется разработке технических средств измерения и контроля качественных параметров технологических процессов в животноводстве и технологических регламентов регулировки и настройки животноводческих машин по критериям качества их функционирования. Научно обоснованы показатели количественной оценки качества процесса доения, формализованы взаимосвязи показателей молокоотдачи животных и параметров доильного оборудования, установлено влияние качества процесса доения на конечные результаты производства молока, структура адаптивной системы управления процессом доения на базе однокристальных ЭВМ;

2) изучены наиболее актуальные проблемы становления и развития фермерских хозяйств: разработаны методологии формирования и использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах; исследованы особенности использования машин и механизмов в фермерских хозяйствах, обоснованы требования к машинам и механизмам, используемым в фермерских хозяйствах; получили развитие теории формирования структуры и состава машинно-тракторного парка с учетом специфических особенностей использования техники в фермерских хозяйствах; разработана теория межфермерской кооперации при использовании сельскохозяйственной техники, раскрыто ее технико-технологическое и организационно-экономическое содержание; разработаны принципы, методы, формы и содержание консультационного обслуживания фермерских хозяйств; осуществляется мониторинг эффективности использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах. Большое внимание уделяется разработке предложений по совершенствованию нормативно-правовых условий деятельности фермерских хозяйств, направленных на повышение эффективности реализации их ресурсного потенциала; обоснование величины, форм и методов государственной поддержки фермерских хозяйств, направляемой на их ресурсное обеспечение, с учетом норм и правил Всемирной торговой организации;

3) разработаны: государственные и отраслевые стандарты, нормативы, регламентирующие требования к эксплуатационным показателям сельскохозяйственной техники; нормативно-техническая документация и технические средства для технического и технологического обслуживания зерноуборочных комбайнов; модели и компьютерные программы обеспечения эффективного использования зерноуборочных комбайнов; модели оценки уровня использования зерноуборочных комбайнов с учетом изменения надежности и качества их работы в процессе эксплуатации; компьютерная база данных для анализа использования зерноуборочных комбайнов отечественного и зарубежного производства в условиях сельхозпредприятия; осуществляется мониторинг потребительских свойств зерноуборочной техники в условиях эксплуатации;

4) разработаны: метод оценки параметров процесса послеуборочной подработки зерна, позволяющего сельским товаропроизводителям, исходя из конкретных условий производства, определять наиболее оптимальный вариант подработки зерна; научно-обоснованные параметры границ эффективного использования зерноочистительных агрегатов в условиях производственной эксплуатации, улучшенные ресурсосберегающие машинные технологии; стенды для исследований ячеистых поверхностей, приборов для определения коэффициента силы трения покоя. Получены закономерности процессов: разделения потока сыпучих материалов, сегрегации зерносмесей, разделения зерносмесей ячеистой поверхностью; научно обоснованы показатели количественной оценки процесса подработки зерна и границы эффективного использования зерноочистительных агрегатов.

5) изучены наиболее актуальные проблемы управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве: разработаны методологии оценки эффективности использования техники в сельском хозяйстве; системы управления качеством механизированных работ; приборы и приспособления для регулировки и настройки сельскохозяйственных машин; средства контроля качества механизированных работ; средства управления технологическими процессами. Большое внимание уделяется разработке средств малой механизации для крестьянских и фермерских хозяйств и модернизации техники и технологий по критериям качества технологических процессов.

6) разработаны типовые модели организации эффективного использования машинно-тракторных агрегатов; операционные технологии выполнения работ машинно-тракторными агрегатами; нормативы, технические средства обеспечения эффективного использования техники в растениеводстве; эксплуатационно-технологических требования к новым машинам для возделывания и уборки пропашных культур; широкозахватные комбинированные машинно-тракторные агрегаты на базе нового поколения тракторов; процесс предпосевной обработки почвы, совмещенный с внесением почвенных гербицидов, и агрегат для его выполнения; посев семян пропашных культур в капсулах и агрегат для их высева, а также блочно-модульные агрегаты для высева дражированных семян, совмещенные с внесением гранулированных минеральных удобрений, и для междурядной обработки посевов пропашных культур и совмещенного ленточного внесения гербицидов и жидких удобрений, обеспечивающих снижение расхода семян на 10-15 %, гербицидов и минеральной подкормки растений на 30-40 %; проект исходных требований на блочно-модульные агрегаты для возделывания пропашных культур; техническое задание на разработку высевающего аппарата для посевного модуля при высеве дражированных семян пропашных культур. Разработанная технология возделывания сахарной свеклы с использованием модернизированного комплекса машин как отечественного, так и зарубежного производства в свеклосеющих регионах России, обеспечивает получение урожая корнеплодов более 50 т/га. Технология обеспечивает повышение урожайности корнеплодов на 25-30%, снижение затрат на возделывание сахарной свеклы на 10-15% и себестоимости одной тонны корнеплодов на 18-25%, снижает пестицидную нагрузку в 2,0-2,5 раза; повышает эффективность производства сахарной свеклы и исключает ручной труд. Технология апробирована в ряде хозяйств Тамбовской области и Центрального Черноземья. Большое внимание уделяется разработке электронных средств контроля и оптимизации эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов и разработке нового посевного материала и эксплуатационно-технологических требований на технические средства для его высева.

7) разработаны научные основы повышения эффективности использования нефтепродуктов и биоэнергетических ресурсов в агропромышленном комплексе, а также необходимые для этих

целей технологии, нормативы, технические средства хранения, сохранения и восстановления показателей качества топлив, способы их контроля; на основе проведенных фундаментальных научных исследований разработан принципиально новый вид композитного топлива из эфиров растительных масел, эфиров непредельных алифатических кислот или спиртов, органических соединений, синтезируемых из продуктов обработки сложных эфиров глицерина и высших карбоновых кислот. В отличие от биодизельного топлива, полученного из липидов растительного или животного происхождения, свойства композитного топлива полностью соответствуют свойствам нефтяного дизельного топлива. Применение композитного топлива позволит отказаться от использования нефтяных видов топлива и перейти к экологически чистым топливам, получаемым из возобновляемого энергетического сырья; разработаны научные основы создания конкурентоспособных, экологически и экономически эффективных инновационных технологий получения биотоплив из микроводорослей и возобновляемого органического сырья; проведена адаптация тракторного дизеля к работе на биотопливе: разработана система подачи смесевого топлива в тракторном дизеле, заменены форсунки и изменены диаметры трубопроводов, предусмотрена система нагрева топлива; научно обоснованы пути снижения антропогенного воздействия от использования нефтепродуктов агропромышленным комплексом на окружающую среду, повышения энергетической и экологической эффективности сельскохозяйственного производства; разработаны проекты стандартов организации: «Оборудование нефтехозяйств сельскохозяйственного назначения» и «Контроль качества нефтепродуктов, используемых в АПК»; разработана система добровольной сертификации нефтебазового оборудования (проекты были одобрены ВИМ, ГОСНИТИ, Центрально-Черноземной, Подольской, Центральной, Поволжской, Северо-Кавказской и Алтайской МИС); разработан проект технического регламента рационального хранения нефтепродуктов в стальных горизонтальных резервуарах, способствующего сохранению качества нефтепродуктов, реализуемых в АПК России (материалы переданы на дальнейшее согласование в Минсельхоз России); разработана концепция обеспечения топливно-энергетической безопасности агропромышленных предприятий на областном уровне; разработаны переносные комплекты средств для экспресс-анализа светлых нефтепродуктов, позволяющие быстро определить основные показатели качества моторного топлива и предотвратить использование некондиционного топлива в сельскохозяйственном производстве; научно обоснованы направления экономии топливно-смазочных материалов и снижения их потерь при хранении, транспортировании и заправке машин путем модернизации нефтехозяйств; разработаны технологии хранения моторного топлива (нефтяного и биотоплива) на сельских нефтескладах, отвечающих современным экологическим и экономическим требованиям; разработаны научно обоснованные способы предупреждения обводнения и потерь от испарения при больших и малых «дыханиях» моторных топлив при их хранении в стальных наземных горизонтальных резервуарах небольшой вместимости на нефтескладах сельскохозяйственных производителей; новые методические подходы использования нефтепродуктов в зарубежной технике, базирующиеся на улучшении свойств применяемых топлив;

8) разработаны: теоретические основы повышения эффективности использования смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве; новые методы анализа свойств и характеристик смазочных материалов; системы эффективного экспресс–контроля качества хранящихся и используемых масел; проекты по организации участков переработки отработанных масел во вторичные высококачественные масла, смазки, топлива; технические средства для восстановления свойств отработанных нефтепродуктов; теоретические основы и методы

использования биомасел в сельскохозяйственной технике; методы эффективного использования трибопрепаратов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники; способы продления срока службы смазочных материалов для сельскохозяйственной техники, за счет удаления продуктов старения смазочной композицией, разработки технологического процесса использования наноструктурированных добавок к маслам с рассмотрением их функциональных возможностей; методы контроля показателей работоспособности масел, утилизации отработанных нефтепродуктов, позволяющих повысить срок службы машин, снизить затраты на их эксплуатацию и отрицательное воздействие на окружающую среду; ресурсосберегающие технологии структурирования и продления сроков службы масел, трансформации отработанных масел во вторичные высококачественные масла и смазки; способы очистки отработанных синтетических моторных масел, основанные на коагуляционных эффектах, а также технологические параметры очистки отработанных гидравлических и трансмиссионных масел на синтетической основе, эксплуатировавшихся в сельскохозяйственной технике.

9) разработаны: методы, способы и средства повышения эффективности использования электроэнергии, газа, твердого топлива и возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, растительных и древесных отходов); методы и средства повышения эффективности использования энерготехнологических установок в животноводстве и в стационарной энергетике растениеводства; теоретическое обоснование параметров, режимов работы установок для химической очистки котлов, бойлеров, отопительных батарей, трубопроводов и другого теплотехнического оборудования от накипи; теоретическое обоснование энергетических параметров режимов работы и саморегулируемых ёмкостных и проточных электроводонагревателей; способы повышения эффективности использования варочных котлов применением саморегулируемых систем энергоподвода для приготовления пищи в столовых сельхозпредприятий, сельских школах, больницах, для термической обработки кормов в фермерских и личных подсобных хозяйствах; теоретическое обоснование энергетических и режимных параметров электропарогенераторов с саморегулированием мощности для приготовления заменителя молока животным, разогрева двигателей внутреннего сгорания в зимний период, стерилизации молочных ёмкостей и посуды; теоретическое обоснование с экспериментальным подтверждением параметров и режимов работы саморегулируемой системы энергообеспечения энерготехнологической установки многоцелевого назначения; теоретическое обоснование с экспериментальным подтверждением энергетических, конструктивных и режимных параметров газоиспользующих варочных аппаратов с саморегулированием мощности; метод, способы и улучшенная технология термической обработки зерна сои; энергоэкономные режимы работы аппаратов многоцелевого агрегата для термической обработки сельхозпродукции многоцелевым агрегатом с саморегулированием мощности;

10) разработаны и апробированы ресурсосберегающие рецептуры консервационных материалов с высокими противокоррозионными свойствами на основе доступного, экологически безопасного вторичного сырья; созданы технологии децентрализованного получения и применения консервационных материалов из отходов от производства и переработки продуктов нефтехимии, растительных масел технического назначения, отработавших моторных масел; разработаны технологические регламенты дифференцированного использования отечественных промышленно выпускаемых консервационных материалов, эффективных при длительном хранении машин; научные основы создания и рационального использования высокопроизводительных навесных, передвижных и ручных технических средств в технологических процессах подготовки к хранению машинно-тракторного парка

сельхозпроизводителей; созданы и испытаны опытные образцы патентоспособного мобильного оборудования для механизации трудоемких операций хранения, энергоэкономного нанесения защитных материалов различной консистенции на рабочие органы машин в условиях пониженных температур; научные основы получения ингибированных консервационных составов на масляной основе для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии. Увеличены защитные свойства материалов, полученных растворением ингибирующих присадок с отработанными синтетическими маслами. Установлены взаимосвязи плотностей компонентов противокоррозионных материалов в твердом и жидком состоянии, а также при плавлении, с динамикой изменения их температуры; определены рациональные конструктивно-технологические параметры процессов нагрева и смешивания компонентов для технологии производства противокоррозионных материалов из отработанных минеральных и синтетических масел;

11) разработаны проекты: технологии выращивания тёлок с высоким генетическим потенциалом с использованием биоплексов микроэлементов; кормления телят комбикормом с новой рецептурой; силосования бобовых культур с биоконсервантами, улучшенной технологии управления качеством доения коров в стойлах и технические средства для ее реализации. Впервые применены в технологии кормления телят йод и селен в органической форме, комбикорма-стартеры новой рецептуры с экзогенным ферментным и антибактериальным препаратами, премиксы на основе биоплексов микроэлементов, высокобелковых растительных компонентов; улучшена технологическая обработки сырья на основе бобовых культур с использованием кукурузного глютена и биологически активных веществ нового поколения, создан высокобелковый бобово-глютеновый концентрат, не уступающий по качественным характеристикам рыбной муке. Разработаны и усовершенствованы: способы содержания молодняка крупного рогатого скота; рационы для всех возрастных групп крупного рогатого скота; проведен анализ причин выбраковки высокопродуктивных коров из стада и разработаны способы продления их хозяйственного использования;

12) разработаны и усовершенствованы технологические процессы производства свинины в предприятиях различной формы собственности; эффективные способы подготовки и использования кормов для повышения их качества, конверсии и обеспечения рентабельного конкурентоспособного производства свинины; отработаны оптимальные параметры для инактивации антипитательных веществ в бобовых культурах разными методами (микронизация, СВЧ-излучение, баротермическая обработка, экструзия) при сохранении качества белка и высокой его усвояемости; разработаны рецептура и технологии изготовления отечественных импортозамещающих обогатительных добавок для комбикормов на основе использования высокобелкового растительного сырья с разной обработкой и новыми биологически активными веществами.

Экспериментальное производство института состоит из двух цехов: механического и токарно-фрезерного. Механический цех владеет станками технологической резки, рубки, сверловки, шлифовки, сварки углеродистой и легированной стали, гибки и проката металла с последующей антикоррозионной обработкой и покраской изделий. Токарно-фрезерный цех имеет станки для технологии восстановления и изготовления, расточки и шлифовки валов, различных изделий и фланцев, нарезки резьб и изготовления гаек и различных изделий для сельхозмашин. В период с 2013 по 2015 год экспериментальное производство изготавливало различные металлоконструкции: фермы, емкости, кузова грузовых сельхозавтомобилей; ремонтировало сельхозмашины, веялки, сеялки, агрегаты тракторов и сельхозмашин, установки для очистки

моторных масел для повторного их использования; изготовлена опытно-промышленная установка для производства биодизельного топлива из масел непищевого назначения для сельхозмашин.

Многочисленные разработки института прошли апробацию и внедрены: в ОАО «Голицыно» Никифоровского района; в Федеральном Государственном Унитарном предприятии «Племенной завод «Пригородный» Тамбовского района; в ООО «Серединовское» Сампурского района; СХПК «Маяк Ленина» Сампурского района; СХПК «Борец», Сампурского района; в Крестьянско-фермерском хозяйстве (глава КФХ Иванов А.И.), Токаревского района. Двухканальный авторегулируемый делитель потока зерна с расходной характеристикой до 120 т/ч по заказу ООО «АгроТехХолдинг» внедрен в составе зерноочистительно-сушильного комплекса фирм Perri и Fortschrit в ООО «Липовка» Рассказовского р-на; в ООО «Октябрьское» Тамбовского р-на. Дробилка минеральных добавок производительностью до 500 кг/ч для измельчения сульфата аммония и карбамида внедрена в ООО «Прогрэс» Тамбовского р-на. Модернизированные сеялки точного высева СУПН-8М внедрены в ОАО «ппз «Арженка» Рассказовского района. Технология мониторинга качества нефтепродуктов и продления сроков службы моторных масел внедрена в ФГУП ПЗ «Пригородный». Методика оценки эффективности использования производственных ресурсов в крестьянских (фермерских) хозяйствах прошла апробацию и внедрена в следующих крестьянских (фермерских) хозяйствах: «Назаров Алексей Федорович»; «Платухин Алексей Николаевич»; «Пименов Александр Васильевич»; «Максимов Сергей Александрович»; «Иванов Александр Иванович»; «Бобрешов Николай Николаевич»; «Трофимов Олег Алексеевич»; «Швецов Иван Николаевич»; «Семенов Сергей Алексеевич»; «Казанков Вадим Сергеевич»; «Филатов Александр Александрович»; «Исаев Владимир Михайлович»; «Щегров Владимир Михайлович»; «Евдокимов Александр Анатольевич»; «Баранов Юрий Владимирович»; «ГОРИЗОНТ»; «Семья»; «СИГМА»; «Ивушка»; «Косов Юрий Васильевич»; «Чеботарев Николай Викторович»; «Дмитриева Ирина Александровна»; «Петроченко Александр Николаевич» и многих других.

Одними из разработанных инновационных проектов являются:

- создание энергоресурсосберегающей технологии производства сельскохозяйственной продукции. Разработана технология и обоснован комплекс машин для возделывания сахарной свеклы без затрат ручного труда. Разработки внедрены в ряде хозяйств Тамбовской, Липецкой, Воронежской и Белгородской областей. Внедрение технологии и комплекса машин позволяет получать урожай сахарной свеклы до 60 т/га;

- разработка информационных технологий обеспечения эффективного использования зерноуборочных комбайнов. Разработана информационная компьютерная система обеспечения эффективного использования зерноуборочных комбайнов. Внедрено в Тамбовской и Саратовской областях. Внедрение системы позволяет получить сельскому товаропроизводителю в эквиваленте зерна до 40 тонн в расчете на 1 комбайн, а также обоснованно подходить к применению зерноуборочных комбайнов различных марок с учетом его конкретных условий, Производственная оценка экономической эффективности внедрения проекта в хозяйствах составила 300-600 рублей в расчете на 1 га убираемой площади (в ценах 2008 года);

- разработка систем управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве. Разработана система приборов и приспособлений для контроля качества работ и настройки техники, модернизированные и новые средства механизации. Внедрено в 72 регионах России и стран СНГ. Разработки защищены 75 авторскими свидетельствами и патентами. Внедрение системы обеспечивает повышение урожайности на 15 %, снижение энергозатрат до 20 %;

- разработка ресурсосберегающей технологии противокоррозионной защиты сельхозмашин ингибированными отработанными маслами. Разработан экологически безопасный консервационный материал из отработанных моторных масел, комплекс технических средств для его получения и нанесения на поверхность сельхозмашин. Внедрено в хозяйствах Тамбовской области. Внедрение технологии и комплекса технических средств позволит в 4 раза снизить затраты на защиту техники от атмосферной коррозии и сэкономить свыше 15 % издержек на ремонт машинно-тракторных агрегатов;

- разработка оборудования и технологического процесса приготовления смазочной композиции аналога трансмиссионного масла из отработанных смазочных материалов и присадок. Внедрено в хозяйствах Тамбовской и Воронежской областей. Внедрение технологии и оборудования для получения аналогов трансмиссионных масел позволяет снизить издержки на приобретение масел на 40-50% и решить вопрос нехватки смазочных материалов для сельскохозяйственной техники;

- разработана технология противоизносных добавок к моторным и гидравлическим маслам на основе экологически чистых, возобновляемых растительных компонентов. Внедрение технологии и оборудования для получения добавок к работающим моторным и гидравлическим маслам на основе продуктов переработки растительных масел позволяет снизить издержки на приобретение масел на 30-40%;

- разработана технология получения водно-био-топливной эмульсии при помощи процесса механоактивации в комбинированном статическом смесителе-активаторе. Определён с помощью нейронной сети процентный состав компонентов водно-топливной эмульсии, который позволяет получить улучшенные эксплуатационные и экологические показатели. Добавка биодизельного топлива до 40% способствует снижению в выбросах отработавших газов оксидов углерода, канцерогенных углеводородов. Добавка воды - 15% обусловлена улучшением экологических свойств топлива – снижению оксидов азота при сохранении теплофизических свойств топлива. Экономическая эффективность от использования водно-био-топливной эмульсии только на одном тракторе может составить более 50 000 рублей в год, в зависимости от того, какие составные компоненты ВБТЭ закупались по рыночной стоимости. Предотвращённый экологический ущерб при сжигания ВБТЭ в дизельном двигателе по сравнению с дизельным топливом ЕВРО сорт С, вид III составляет 343 рубля с каждой тонны, для дизельного топлива класса ниже экономия будет возрастать.

За прошедшие годы по результатам проведенных исследований сотрудниками института подготовлено и опубликовано более 8500 научных статей, свыше 150 научных монографий, справочников, брошюр; свыше 20 учебных пособий для студентов ВУЗов по агроинженерным специальностям; получено 175 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

В соответствии со Стратегией развития ФГБНУ ВНИИТиН на период до 2025 г. (утверждена 19 июня 2009 г.), основными целями института являются достижение лидирующих позиций фундаментальных исследований по ряду приоритетных направлений науки, техники и технологий в области повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники и нефтепродуктов, развитие и укрепление связей между наукой, образованием и производством в области агроинженерной науки, участие в инновационной деятельности, пропаганде и реализации научных исследований. Развитие института направлено на:

- всемерное увеличение производства экологически чистой продукции растениеводства и животноводства;

- повышение качества сельхозпродукции и сокращение потерь;

- внедрение эффективного ресурсосбережения: точности сева (сокращение расхода семян в 1,5-2,0 раза); направленного ультрамалообъемного внесения и уменьшения расхода пестицидов (в 1,5-2 раза), минеральных удобрений (на 25-30 %), сокращения в 1,5-2,0 раза расхода нефтепродуктов на 1 га, воды и других ресурсов – в 2,5-3,0 раза, уменьшение потерь при уборке зерновых до 1 %, обеспечение максимальной сохранности питательных веществ при заготовке кормов;

- повышение производительности труда путем: внедрения интенсивных и прецизионных технологий; широкого применения многофункциональных машин, выполняющих одновременно до девяти операций; рационального увеличения ширины захвата машин и орудий;

- обоснование оптимальных параметров МТА для перспективных технологий с учетом региональных условий;

- повышение качества выполнения технологических процессов при применении новых технологий и комплексов машин;

- разработку путей рационального применения энергетических ресурсов с широкомасштабным использованием возобновляемых источников энергии;

- проведение мониторинга применения импортной техники и технологии с целью обеспечения ее эффективного использования;

- разработку и исследование физико-химических и эксплуатационных свойств новых видов биотоплив и биомасел второго и третьего поколений;

- исследование свойств наноматериалов и их использования для улучшения качества применяемых в АПК светлых и темных нефтепродуктов;

- исследование защитных свойств консервационных материалов при хранении сельскохозяйственной техники.

Предусмотрена оптимизация структуры института, направленная на усиление позиций фундаментальных исследований по ряду приоритетных направлений науки и техники, укрепления интеграционных связей с рядом НИИ и ВУЗов, а также с зарубежными учреждениями Казахстана и Беларуси. Основными формами сотрудничества с вузами являются создание базовой кафедры («Агроинженерия»» при Тамбовском государственном техническом университете), чтение лекций и проведение практических занятий со студентами, руководство аспирантами, дипломными и курсовыми работами, участие в работах Государственных аттестационных комиссиях ТГТУ и МичГАУ, разработка и издание научно-методической литературы и учебных пособий.

Создание единой информационной базы в целях совершенствования образовательного и научного процесса, изучения и применения новых методов научных исследований позволит нашему сельскому хозяйству получать специалистов, способных проводить инновационные преобразования, которые смогут занять лидирующее место в системе использования машин в сельском хозяйстве.

Кадровый состав нашего института, а это – 10 докторов и 27 кандидатов наук по профилю рассматриваемых проблем, готов к выполнению поставленной задачи.

В заключении хочется подчеркнуть, что наш институт готов по мере своих сил и опыта внести свою лепту в выполнение показателей Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы.

УДК 621.892

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ОБКАТКЕ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Остриков Валерий Васильевич,
доктор технических наук, заведующий лабораторией, E-mail: viitinlab8@bk.ru
Афанасьев Дмитрий Игоревич,
инженер, E-mail: viitinlab8@bk.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов,
Снежко Владимир Андреевич,
кандидат технических наук, E-mail: avsnzk@rambler.ru
Снежко Андрей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики, E-mail: avsnzk@rambler.ru
Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета, Зерноград

Реферат. *Рассмотрены вопросы использования отработанных моторных масел в качестве приработочной жидкости при обкатке отремонтированных двигателей тракторов. Установлено, что загрязнённое отработанное масло не может быть использовано в качестве основы обкаточного масла, так как содержит значительное количество смол и механических примесей. Определено, что для удаления из отработанных масел примесей, необходимо использовать коагулянты, способные ослабить действие моюще-диспергирующих присадок. Укрупнение практически растворённых в масле смол до размеров дисперсного состава 10…20 мкм позволяет удалять загрязнения из отработанного масла с целью дальнейшего его использования в качестве дисперсионной среды обкаточного масла для двигателей сельскохозяйственной техники. При выборе средств очистки отработанных масел для удаления скоагулировавших загрязнений, рассмотрен график функции плотности логарифмического нормального распределения частиц по размерам. Предложено эффективность очистки отработанных масел оценивать показателем степени очистки, определяемого соотношением содержания нерастворимого осадка в масле до его очистки и после. Для упрощения оценки эффективности очистки масла в условиях реальной эксплуатации, рассмотрена возможность определения качества очистки по изменению цвета масла. На этапе теоретических исследований выдвинута гипотеза, что в составе обкаточного масла целесообразно применение абразивных примесей специфического характера, способных на этапе холодной обкатки участвовать в выравнивании послеремонтных микронеровностей на поверхности трения деталей двигателя и на следующем этапе горячей обкатки растворяться в масле, повышая его противоизносные свойства. Показано, что такими свойствами может обладать карбамид, после его перекристаллизации и последующего расплавления при высокой температуре.*

Ключевые слова: *отработанное масло; присадки; примеси; удаление; обкатка; двигатель.*

THEORETICAL PREREQUISITES OF USE PROCESSED MOTOR OILS AT RUNNING REPAIRED TRACTOR ENGINES

Ostrikov Valery,
Full Doctor of technical Sciences, laboratory chief, E – mail: viitinlab8@bk.ru

Afanasiev Dmitry,
engineer, E – mail: viitinlab8@bk.ru
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov
Snezhko Vladimir Andreevich,
Candidate of Technical Sciences, E-mail: avsnzk@rambler.ru
Snezhko Andrei Vladimirovich,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, E-mail: avsnzk@rambler.ru
Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, Zernograd

Abstract. *The issues of using used motor oils as quality of running-in liquid during the running-in of repaired engines of tractors are considered. It is established that the contaminated waste oil cannot be used as a base for running oil, since it contains a significant amount of resins and mechanical impurities. It is determined that to remove impurities from used oils, it is necessary to use coagulants that can weaken the action of detergent-dispersant additives. The consolidation of practically dissolved resins in oil to the size of a dispersed composition of 10 ... 20 μm allows to remove contaminants from the used oil for the purpose of its further use as a dispersion medium for running-in oil for agricultural machinery engines. When choosing the means for cleaning used oils to remove the coagulated impurities, we consider the graph of the log density function of the normal particle size distribution. The efficiency of purification of oil is estimated by the indicator of the degree of purification determined by the ratio of the content of insoluble sediment in the oil before and after treatment. To simplify the assessment of the efficiency of oil cleaning in real operation conditions, the possibility of determining the quality of cleaning by changing the oil color is considered. The hypothesis was put forward at the stage of theoretical studies that it is advisable to use abrasive admixtures of a specific nature in the composition of the running oil, capable of participating in the alignment of the post-repair micro-roughnesses on the friction surface of the engine parts at the stage of cold running-in and, in the next stage of hot running, dissolve in oil, increasing its anti-wear properties. It is shown that such properties can be possessed by carbamide, after its recrystallization and subsequent melting at high temperature.*

Keywords: *Waste oil; Additives; Impurities; Removal; Break-in; engine.*

Введение. Обкаточное или приработочное масло для послеремонтной обкатки двигателей тракторов, как правило, состоит из основы и различного рода добавок, присадок и т.д. [1,2]. За основу обкаточных масел чаще всего принимаются базовые масла нефтяного происхождения или индустриальные масла (И-12А, И-20А). В объёме себестоимости дорогостоящего обкаточного масла базовая основа составляет 45…50 %, а вносимые компоненты присадок добавок 50…55 %. При этом цена 1 литра обкаточного масла может достигать 500…600 рублей, что в 5-7 раз дороже 1 литра моторного масла М-10Г$_2$. С учётом того, что обкаточное масло после 2-3 часов работы становится практически непригодным к повторному использованию, то ставится задача снижения затрат на выполнение операции обкатки и в частности на применяемое дорогостоящее масло.

Если учесть, что обкаточное масло состоит из 90 % базового масла, то его замена на отработанное масло уже может сыграть важную как экономическую, так и ресурсосберегающую роль. Важнейшими характеристиками базовых масел является их вязкость, степень чистоты и смазывающие свойства [3,4].

Отработанное моторное масло (ММО) сильно загрязнено механическими примесями, продуктами окисления, за счёт чего имеет неудовлетворительные смазывающие свойства, то есть отработанное масло после его слива из картера двигателя является непригодным в качестве основы обкаточного масла. Удаление из ММО только механических примесей, не решает задачу использования масла в качестве основы, так как в масле остаются смолы, асфальтены, отрицательно влияющие на свойства получаемой основы.

Целью теоретических исследований данной работы является анализ и рассмотрение вопросов использования в качестве обкаточного масла отработанного масла и формирования на его основе высококачественного продукта для послеремонтной обкатки тракторов в сельскохозяйственном производстве.

Результаты и их обсуждение. Следует отметить, что удаление смол из отработанных масел является сложной задачей, в силу того, что они находятся практически в «растворённом» состоянии в масле. Дисперсный состав этих загрязнений находится в диапазоне 0,1-1 мкм, и известные физические средства очистки не способны их выделить из масляной среды. К тому же в отработанном масле содержится 20…30 % моюще-диспергирующих, антиокислительных присадок, которые снижают эффективность процесса укрупнения примесей смол, асфальтенов. Моющие присадки сульфонатного типа одновременно являются эффективными солюбилизирующими и нейтрализующими агентами.

Рассмотрим состав маслорастворимых сульфонатов, которые делятся на средние, основные и сверхосновные. Средние сульфонаты, имеющие формулу $(R\text{-}Ar\text{-}SO_3)_nMe$, в основном получаются путём нейтрализации сульфированных масел кислотного характера или соответствующих сульфокислот гидроксидами металлов. Сульфонатная присадка С-150 по физико-химическим и эксплуатационным свойствам соответствует среднещелочной присадке.

Широко распространены основные сульфонаты, которые соответствуют формуле:

$$\begin{array}{c} O \\ // \\ R - Ar - S - OMeOH \\ \backslash\backslash \\ O \end{array}$$

В зависимости от условий защелачивания и соотношения реагентов, сульфонаты могут содержать значительное количество оксидов, гидроксидов и карбонатов в мелкодисперсном и коллоидном состоянии.

Щелочность присадок является одним из важнейших показателей, характеризующих их эксплуатационные свойства. Именно этим показателем определяются свойства масел, обеспечивающие нормальную работу двигателей.

Сверхосновные и многозольные сульфонаты обладают не только большой нейтрализующей способностью, но и значительным диспергирующим действием, что объясняется наличием в них большого количества полярного неорганического основания $Me(OH)_2Me \cdot MeO \cdot MeCO_3$. Общую формулу сверхосновного сульфоната можно представить в виде:

$$(RArSO_3)_2Me \cdot MeO \cdot Me(OH)_2,$$

где *Me* – двухвалентный металл, вместо $Me(OH)_2$ может быть $MeCO_3$.

Сверхосновные присадки представляют собой коллоидные растворы в маслах карбонатов щелочноземельных металлов, стабилизированных ПАВ. По данным электронно-

микроскопических исследований, размер коллоидных частиц карбоната кальция в присадках находится в пределах 1-5 нм [5].

Присадки могут образовывать растворы с истинными или кажущимися мицеллами. Не карбонатированные сульфонатные присадки образуют истинные мицеллы. Истинная мицелла в неполярной жидкости представляет собой формированные ПАВ вокруг собственного ядра из полярных групп.

Рассмотрев состав и механизм действия присадок, на следующем этапе теоретического анализа необходима предварительная оценка действия коагулянтов для укрупнения примесей, с целью их последующего удаления простыми техническими средствами очистки.

Среди известных коагулянтов, используемых для очистки масел, следует выделить вещества из ряда аминов, содержащих азотистые соединения, аммиачные соли и т.д. [6,7].

Разнообразные химические соединения, продукты сгорания топлива, разложения присадок и основы масла, присутствующие в отработанном моторном масле, реагируют с аммиак-содержащими соединениями коагулянтов.

Например, карбамид разлагается при нагревании его в смеси с моторным маслом с выделением аммиака и углекислого газа [8]:

$$(NH_2)CO \xrightarrow{H_2O,\ t^\circ C} 2NH_3 + CO_2$$

Возможно разложение карбамида с образованием биурета.

$$2(NH_2)_2CO \xrightarrow{t^\circ C} NH_3 + NH_2 - CO - NH - CO - NH_2$$

Также возможно одновременно с вышеприведёнными реакциями прохождение процесса разложения с образованием изоциановой кислоты.

$$(NH_2)CO \rightarrow NH_3 + H - N = C - OH \rightarrow \textit{циануровая кислота}$$

Выделяющийся при температурном разложении аммиак взаимодействует с «кислыми соединениями», находящимися в отработанном масле с образованием циклических уреидов:

$$\begin{array}{c} C = OH \\ | \\ C = OH \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} H_2N \\ \backslash \\ C = O \\ / \\ H_2N \end{array} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{c} O \\ \backslash\backslash \\ C = OH \\ | \\ C = OH \\ // \\ O \end{array}$$

Взаимодействие коагулянтов с моющей присадкой (в моторном масле М-10Г$_2$ это ДФ-11) может незначительно снижать её «содержание» в отработанном масле, при этом образуются нерастворимые в масле, но растворимые в других растворах осадки. То есть происходит замещение катионов Ca^{2+} и Zn^{2+} в присадках ДФ-11, С-150 на NH_4^+.

Укрупнение примесей загрязнений в масле до размеров 10…20 мкм позволяет их удалять из отработанного масла простыми физическими способами очистки. Среди доступных средств очистки наиболее рациональным для условий их использования на ремонтных предприятиях АПК являются различного вида центрифуги и фильтры.

Фильтры для очистки отработанных масел имеют свои недостатки, характеризуемые низкой грязеёмкостью, быстрым закупориванием пор смолами, сложностью регенерации для повторного использования, высокими затратами при их использовании.

Центрифуги и сепараторы практически лишены данных видов недостатков.

Эффективность процесса удаления примесей, как известно, характеризуется коэффициентом остатка частиц в очищенном масле $\alpha = 1 - ц$, где $ц$ – коэффициентом задержания частиц центрифугой.

Рассмотрим условия осаждения скоагулировавших частиц примесей в центрифуге в зависимости от характеристик процесса и дисперсного состава загрязнений.

Как отмечалось во многих работах по центрифугированию и очистке масел Соколова В.И., Григорьева М.А., Снежко В.А., Снежко А.В., Острикова В.В. [9-12] существует предел центрифугирования или некий наименьший радиус частиц D_y, которые могут полностью улавливаться центрифугой. Для частиц загрязнений отработанного масла необходимо условие, когда $\varphi_y = 1$, а $\alpha_y = 0$.

Условно можно считать, что количество задерживаемых центрифугой частиц диаметром $D_i < D_y$ пропорционально площади ротора центрифуги S_y^i, ширина которого $a_ц^i$ соответствует перемещению частицы от D_i до выхода из зоны очистки. Тогда доля улавливаемых частиц составляет:

$$\varphi_i = \frac{S_ц^i}{S_ц} = \frac{a_ц^i (2R_{OC} - a_ц^i)}{b_{OC}(2R_{OC} - b_{OC})} \quad (1)$$

где, R_{OC} - расстояние от центра до стенки ротора, мм; B_{OC} – толщина слоя образовавшегося осадка, мм;

Исходя из известного выражения (1), для минимального диаметра задерживаемых частиц, коэффициент задержания частиц $D_i < D_y$:

$$\alpha_i = 1 - \varphi_i = 1 - \frac{D_i^2}{D_y^2} \quad (2)$$

Коэффициент остатка α_f зависит от дисперсного состава частиц загрязнений, присутствующих в отработанном масле. Для наших условий, с учётом результатов рассмотрения процесса укрупнения частиц, полный коэффициент остатка примесей в масле после пропуска (однократного) через центрифугу составит:

$$\alpha_f = \int_0^{D_y} f(D) \cdot Dd - \frac{1}{D_y^2} \int_0^{D_y} D^2 f(D) \cdot Dd = \alpha_y - \Delta\alpha \quad (3)$$

где α_y –коэффициент остатка при задержании частиц диаметром $D \geq D_y$; $\Delta\alpha$ - дополнительное снижение коэффициента остатка из-за задержания частиц $D < D_y$.

Рассмотрим классический график функции плотности логарифмического нормального распределения частиц по размерам с учётом предложенного решения (рисунок 1).

Сплошной линией представлен график плотности распределения частиц с учётом их укрупнения в процессе предварительной коагуляции. Зона *A* – остаток при задержании частиц без учёта коагуляции; зона *B* – дополнительное снижение коэффициента задержания частиц по известной закономерности; зона *C* – дополнительное снижение коэффициента в соответствии с предложенным решением. Тогда:

$$\alpha_y = \int_0^{D_y} f(D) \cdot dD \quad (4)$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{D_y^2} \int_0^{D_y} D^2 f(D) \cdot dD \quad (5)$$

Представленные выражения характеризуют эффективность очистки отработанного моторного масла. Однако в условиях экспериментальных исследований, теоретические представления могут отличаться от практически полученных результатов, и для качественной очистки необходим не один проход масла. Также возможно изменение дисперсного состава примесей за счёт дробления скоагулировавших мелкодисперсных загрязнений.

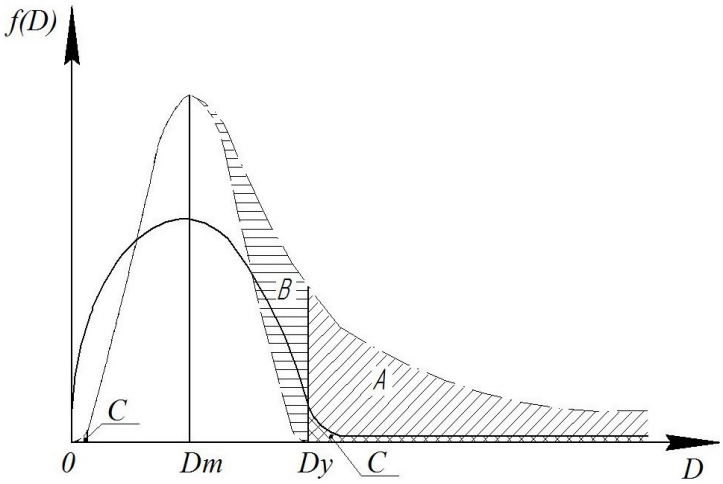


Рисунок 1 – Графики функции плотности и логарифмического нормального распределения

Для выбора эффективного средства удаления скоагулировавших частиц загрязнений, смол из отработанного масла, воспользуемся известным выражением для оценки предельного диаметра частиц d_y, гарантированно улавливаемых центрифугами [9]:

$$d_y = \sqrt{\frac{18 \cdot \nu \cdot \ln(R_{OC} / r_{OC})}{\Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot r}} = \sqrt{\frac{18 \cdot \nu \cdot \ln(1 + b_{OC} / r_{OC})}{\Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot r}} \quad (6)$$

где R_{OC}, r_{OC} - граница пути осаждения частиц в радиальном направлении, м; b_{OC} – путь осаждения частиц, м.

Подставляя значения вязкости ν, параметров центрифуги, частоты вращения ω, времени τ нахождения частиц в формулу 6, получим значение d_y, улавливаемых частиц, не учитывающее процесс их укрупнения при коагуляции загрязнений.

Для наших конкретных условий предельный диаметр частиц может быть представлен в виде дополнительного выражения (7):

$$d_y^{/} = \sqrt{\frac{18 \cdot \nu \cdot \ln(1 + b_{OC} / r_{OC})}{\Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot r}} \cdot K_K \quad (7)$$

где K_K – коэффициент увеличения диаметра частиц под действием коагулянта.

Как показывает предварительный анализ, частицы размером 0,1…1 мкм могут быть увеличены в 10…20 раз. В соответствии с чем, $K_K = 15$.

Эффективность очистки отработанных моторных масел также характеризуется показателем степени очистки γ:

$$\gamma = (1 - \frac{N_0}{N_з}) \cdot 100 \ \% \quad (8)$$

где N_0 – содержание смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов в ММО, определяемое как содержание нерастворимого осадка в очищенном масле %; $N_з$ – содержание нерастворимого осадка в исходном масле, %.

Для упрощения оценки эффективности очистки отработанного масла рассмотрим возможность определения степени очистки по шкале цвета масла в баллах $Ф_{оч.}$, таблица 1.

Таблица 1 – Шкала цвета ММО в зависимости от содержания нерастворимого осадка в масле

Показатель	Цвет, балл								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Содержание нерастворимого осадка	> 1	0,8-1,0	0,5-0,7	0,2-0,4	0,1-0,2	0,05-0,08	0,01-0,04	отс.	отс.
Внешний вид, цвет	чёрный	чёрный	светло-чёрный	коричневый	свето-коричневый	красно-жёлтый	жёлтый	Жёлтый	жёлтый

Эффективность очистки масла по цветовой шкале можно записать в виде выражения:

$$Ф_{оч} = 1 - \frac{Ц_о}{Ц_и} \quad (9)$$

где $Ф_{оч.}$ – коэффициент эффективности очистки; $Ц_о$ – цвет, определяемый визуально по шкале цвета очищенного масла, балл. $Ц_и$ – цвет исходного масла, балл (на фильтровальной бумаге).

На основании полученных уравнений и зависимостей, можно в первом приближении сделать вывод о том, что для удаления скоагулировавших примесей из ММО не требуется применение сложных средств очистки отработанных масел, что упрощает решение практических задач по получению основы обкаточных масел на базе ММО.

Процесс изнашивания деталей при обкатке двигателей предполагает выделение пяти видов фрикционного взаимодействия:1- упругое деформирование как результат фрикционной усталости; 2- пластическое оттеснение материала, происходящее в процессе малоцикловой пластической усталости; 3- микрорезание, когда изнашивание происходит за счёт отрыва микростружек;4 - адгезионное, когда разрушается защитная плёнка на поверхности металла; 5- когезионное, когда происходит «глубинное» выравнивание металла.

В силу того, что микровыступы на поверхностях трения имеют разное по высоте значение, то в процессе обкатки имеют место все виды фрикционного взаимодействия. Механизм микрорезания является одним из важнейших, рассмотрению которого посвящено большое количество работ [13, 14].

Снизить адгезионное и когезионное воздействие на металле возможно введением противоизносных присадок-добавок к обкаточному маслу.

Ускорить процесс выравнивания микронеровностей (образующихся в процессе обработки деталей при проведении операции ремонта) возможно введением в масло микро, ультрадисперсных абразивов. Однако это не всегда приводит к положительным результатам, так как абразив в свою очередь оставляет следы на поверхности трения.

Не исключая положительного эффекта от действия абразивных примесей, необходимо создать такие условия при проведении процесса обкатки, когда абразив кратковременно

выполнив свои функции, переходит в другое состояние, например, способствует улучшению адгезионных, противоизносных свойств прирабочного, обкаточного масла.

Такими свойствами может обладать, например, карбамид. Микрофотографии проб масла, содержащих в своём составе кристаллы карбамида, представлены на рисунке 2.

а) б) в)

Рисунок 2 – Микрофотографии проб масла М10-Г$_2$ с включениями кристаллов карбамида

а) 1 % водного раствора карбамида б) 2 % водного раствора карбамида

в) 3 % водного раствора карбамида

Далее, выдвигая гипотезу использования включения карбамида в приработочных маслах для повышения эффективности обкатки и увеличения эксплуатационных свойств обкаточного масла, сделаем предположение о возможности использования карбамида как абразивного элемента в масле.

Присутствие кристаллов карбамида в моторном масле может привести к интенсификации процессов износа поверхностей трения. Однако, по мнению многих исследователей, мелко и ультрадисперсные твёрдые частицы не интенсифицируют изнашивание, а тормозят его. Ими установлено, что частицы размером менее 5 мкм обеспечивают полирующий эффект.

Исследованиями Г.И. Бортника [15] определено, что наличие до 1,5 % ультрадисперсных частиц в масле ускоряют образование микрорельефа на всей площади трения.

Как известно, важнейшее назначение приработочных масел состоит в создании между трущимися поверхностями плёнки, способной снизить износ от взаимодействия твёрдых тел. Плёнка при этом должна обладать высокой адгезией к поверхности трения.

В соответствии с рассматриваемой гипотезой, после выполнения «функции абразива», карбамид на поверхности металла при прогреве деталей до температуры выше 132 ˚С превращается в жидкое состояние. На следующем этапе, рассматривая действие карбамида в масле, можно предположить физико-химическое протекание процесса и реакции, которые способствуют образованию эффективной и прочной плёнки, обусловленной химическими связями.

В целом, действие включения карбамида в приработочном масле в первом приближении можно представить следующей схемой, представленной на рисунке 3.

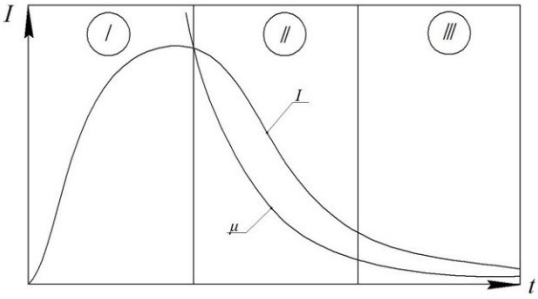


Рисунок 3 – Зависимости интенсивности изнашивания *I* двигателя и коэффициента трения μ от стадий стендовой обкатки двигателя

Анализируя рисунок 3 можно выделить 3 стадии интенсивности износа *I* двигателя внутреннего сгорания от времени *t*.

I – стадия холодной обкатки, соответствующий этапу обкатки двигателя, время которой составляет порядка 30 мин. В этот период происходит наиболее интенсивный съём металла с поверхностей трения, что выражено на графике наибольшим пиком интенсивности процесса износа и максимальной величиной коэффициента трения. Температура масла на поверхностях трения механизмов ДВС ещё не превышает 132 ˚С, а так как двигатель работает от постороннего источника энергии и зазоры механизмов ещё не увеличены за счёт теплового расширения деталей, то на данной стадии обкатки будет происходить «срезание» наиболее крупных выступов на поверхностях трения за счёт полирующего действия абразивных частиц карбамида, что позволит добиться значительного снижения износа во время последующих этапов обкатки дизеля.

II – стадия – стадия горячей обкатки без нагрузки. Объясняя повышение смазывающих свойств масла от действия карбамида на этапе горячей обкатки, можно предположить, что карбамид, как известно, относится к полярным соединениям. Ориентированное поле полярных молекул образует на поверхности трения своеобразный ворс (рисунок 4).

На III стадии (горячая обкатка под нагрузкой) эффект износа становится минимальным, снижается коэффициент трения.

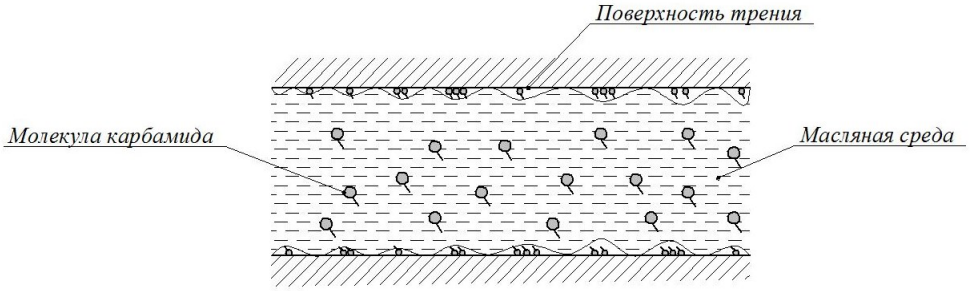


Рисунок 4 – Молекулы карбамида в масляном слое

Чем длиннее полярные молекулы и чем прочнее их связь с поверхностью трущейся, тем выше смазывающие свойства масла. Учитывая то, что карбамид является сегментным ассоциированным соединением в силу образования межмолекулярных водородных связей:

$$\begin{array}{ccccc} & NH_2 & & H & O \\ & | & & | & \| \\ NH_2 - C = O & ..... & & H - N - C - NH_2 & \end{array}$$

то становится понятным повышение смазывающих свойств или «маслянистости» работающего масла объёмным наличием в масле неразрушающегося даже при высокой температуре включения карбамида.

Известно, что коэффициент трения мало зависит от мономолекулярности слоёв и практически одинаков как в одном, так и нескольких слоях.

В соответствии с чем, добавление в масло малых долей карбамида, обладающих высокой полярной активностью, прочность масляной плёнки на поверхности трения возрастает.

Можно полагать, что по противоизносным и противозадирным свойствам соединения, содержащие $C = O$ - OH, $N <$ не уступает по эффективности действия дорогостоящей присадке ДФ-11.

Предварительная проверка данного эффекта на машине трения в масле М-10Г$_2$ подтверждает данную гипотезу.

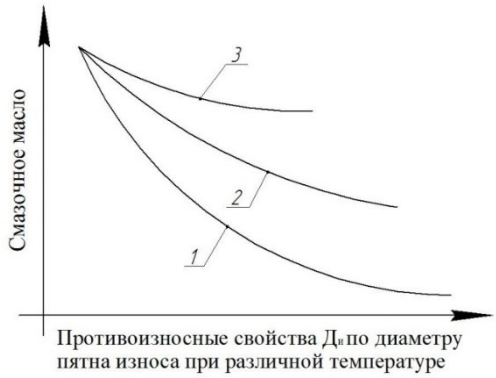


Рисунок 5 – Изменение противоизносных свойств масла под действием присадки и карбамида1 – исходное масло; 2 – масло с присадкой; 3 – масло с карбамидом

Повышение смазывающих свойств масла или уменьшение диаметра пятна износа можно объяснить сорбцией трущихся поверхностей молекул карбамида.

Заключение. В результате теоретических исследований установлено, что отработанное моторное масло возможно использовать в качестве основы приработочного масла. Эффект обкатки отремонтированных двигателей тракторов может быть повышен введением трансформируемого в жидкость абразива. Данные теоретические предпосылки позволяют создать высокоэффективное приработочное масло для послеремонтной обкатки двигателей тракторов, и минимизировать затраты на технологический процесс обкатки.

Список литературы

1. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. Л.: Химия, 1965. 224 с.

2. Храмцов Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей. М.: Агропромиздат, 1991. 125 с.

3. Остриков В.В. Повышение эффективности использования смазочных материалов // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. 2010. № 5. С. 10-11.

4. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Попов С.Ю. Исследование очистки отработанных синтетических моторных масел специфическими растворителями // Наука в центральной России. 2013. № 5. С. 27-30.

5. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. 2-е изд. перераб. – Л.: Химия, 1985. 312 с.

6. Шашкин, П. И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин. - М.: Химия, 1970. 301 с.

7. Коваленко В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений / В.П. Коваленко. - М.: Недра, 1990. 160 с.

8. Кучерявый В.И., Лебедев В.В. Синтез и применение карбамида. Л.: Химия, 1970. 448 с.

9. Снежко А.В., Снежко В.А. Оптимизация геометрических параметров реактивного привода очистительных центрифуг [для очистки масла в двигателях транспортных средств и тракторов] // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 9. С. 27-28.

10. Остриков В.В. и др. Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах с/х техники. Воронеж: Истоки, 2008. 159 с.

11. Григорьев М.А. Очистка масла и топлив в автотракторных двигателях. М.: Машиностроение, 1970. 270 с.

12. Соколов В.И. Центрифуги (процессы центрифугирования и современные конструкции центрифуг). М.: Машгиз, 1950. 320с.

13. Карпенко М. А. Интенсификация процесса приработки двигателей УМЗ применением присадок в масло с поверхностно-активными и химически-активными веществами: диссертация кандидата технических наук. Пенза, 2002. 172 с.

14. Хохлов А.Л. Повышение качества приработки деталей двигателей после ремонта на основе присадок. Казань, 2004. 169 с.

15. Бортник Г.И. Влияние микроабразива на контактное взаимодействие трущихся пар при избирательном переносе. // Избирательный перенос при трении. М.: Наука. 1975. С.46-48.

References

1. Sharonov G.P. Primenenie prisadok k maslam dlya uskoreniya prirabotki dvigateley. L.: Himiya, 1965. 224 s.

2. Hramtsov N.V. Obkatka i ispyitanie avtotraktornyih dvigateley. M.: Agropromizdat, 1991. 125 s.

3. Ostrikov V.V. Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya smazochnyih materialov // Mehanizatsiya i elektrofikatsiya selskogo hozyaystva. 2010. № 5. S. 10-11.

4. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Popov S.Yu. Issledovanie ochistki otrabotannyih sinteticheskih motornyih masel spetsificheskimi rastvoritelyami // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2013. № 5. S. 27-30.

5. Kuliev A.M. Himiya i tehnologiya prisadok k maslam i toplivam. 2-e izd. pererab. – L.: HIMIYa, 1985. 312 S.

6. Shashkin, P. I. Regeneratsiya otrabotannyih neftyanyih masel / P.I. Shashkin. - M.: Himiya, 1970. 301 s.

7. Kovalenko V. P. Ochistka nefteproduktov ot zagryazneniy / V.P. Kovalenko. - M.: Nedra, 1990. 160 s.

8. Kucheryavyiy V.I., Lebedev V.V. Sintez i primenenie karbamida. L.: Himiya, 1970. 448 s.

9. Snezhko A.V., Snezhko V.A. Optimizatsiya geometricheskih parametrov reaktivnogo privoda ochistitelnyih tsentrifug [dlya ochistki masla v dvigatelyah transportnyih sredstv i traktorov] // Traktoryi i selhozmashinyi. 2016. # 9. S. 27-28.

10. Ostrikov V.V. i dr. Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya smazochnyih materia-lov v uzlah i agregatah s/h tehniki. Voronezh: Istoki, 2008. 159 s.

11. Grigorev M.A. Ochistka masla i topliv v avtotraktornyih dvigatelyah. M.: Mashino-stroenie, 1970. 270 s.

12. Sokolov V.I. Tsentrifugi (protsessyi tsentrifugirovaniya i sovremennyie konstruktsii tsentrifug). M.: Mashgiz, 1950. 320s.

13. Karpenko M. A. Intensifikatsiya protsessa prirabotki dvigateley UMZ primeneni-em prisadok v maslo s poverhnostno-aktivnyimi i himicheski-aktivnyimi veschestvami: dis-sertatsiya kandidata tehnicheskih nauk. Penza, 2002. 172 s.

14. Hohlov A.L. Povyishenie kachestva prirabotki detaley dvigateley posle remonta na osnove prisadok. Kazan, 2004. 169 s.

15. Bortnik G.I. Vliyanie mikroabraziva na kontaktnoe vzaimodeystvie truschihsya par pri izbiratelnom perenose. // Izbiratelnyiy perenos pri trenii. M.: Nauka. 1975. S.46-48.

УДК 631.331+631.315.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА ДЛЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Волошин Игорь Владимирович,
аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК»
E-mail: voloigor20@yandex.ru
Ларюшин Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» E-mail: larushinnp@mail.ru
Шумаев Василий Викторович,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», E-mail: shumaev.vasya@yandex.ru
Ванин Дмитрий Владимирович,
аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК»
E-mail: larushinnp@mail.ru
Кирюхина Татьяна Александровна,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования механизмов и машин» E-mail: larushinnp@mail.ru
ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза

Реферат. *Известно, что равномерность распределения семян по глубине и длине рядка является наиболее важным показателем при посеве семян зерновых. Существующие сошники сеялок для посева семян зерновых культур не в полной мере отвечают этим требованиям.*

Рассматривается решение одной из актуальных проблем посева зерновых культур – укладка семян на уплотненное ложе при исключении их попадания на стенки борозды и без осыпания борозды во время укладки семян, что оказывает влияние на равномерность распределения семян по длине рядка и по глубине посева и как результат на урожайность культуры. Для этого проведены теоретические исследования отражения и раскладки семян при ударе о борозду. Получены аналитические зависимости для определения скорости, времени движения и траектории центра массы зерна в зависимости от угла между положительным направлением оси Ох и вектором мгновенной скорости зерна, массы и поступательной скорости движения комбинированного сошника при посеве зерновых культур. При соблюдении данных условий семена не отскакивают от стенок борозды и ложатся на уплотненное ложе равномерно, в результате чего повышается урожайность культуры. Авторами разработан и изготовлен новый тип сошника, который устраняет все описанные недостатки. Комбинированный сошник установлен на сеялке СЗ-5,4 и испытан при посеве зерновых культур в полевых условиях.

Ключевые слова*: равномерность распределения семян, качество посева, двухдисковый сошник, направитель семян, рыхлитель, зерновые культуры.*

THEORETICAL RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF WORK OF COMBINED COVER FOR SOWING OF GRAIN CROPS

Voloshin Igor,
Graduate student, "Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex" E-mail: voloigor20@yandex.ru
Larushin Nicolai,
Professor, Head of the Department, "Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex". E-mail: larushinnp@mail.ru
Shumaev Vasiliy,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, "Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex" E-mail: shumaev.vasya@yandex.ru
Vanin Dmitriy,
Graduate student, "Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex" E-mail: larushinnp@mail.ru
Kiryukhina Tatyana,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, "Basics of designing mechanisms and machines" E-mail: larushinnp@mail.ru
FSBEE HE «Penza State Agrarian University»

Abstract. *It is known that the uniformity of seed distribution over the depth and length of the row is the most important index when sowing grain seeds. Existing coulters of seeders for sowing seeds of cereals do not fully meet these requirements. The solution of one of the most urgent problems of sowing grain crops is the laying of seeds on a packed bed, with the exception of their falling on the furrow walls and without furrow shedding during the laying of seeds, which affects the uniformity of seed distribution along the row length and in the depth of sowing and, as a result, Culture. For this purpose, theoretical studies of the reflection and layout of seeds were made when striking a furrow. Analytic dependencies are obtained for determining the velocity, the time of motion and the trajectory of the center of the grain mass as a function of the angle between the positive direction of the Ox axis and the vector of the instantaneous grain velocity, mass, and translational speed of the combined opener when sowing cereals. Under these conditions, the seeds do not bounce off the furrow walls and lie on the compacted bed evenly, as a result of which the yield of the crop increases. The authors designed and manufactured a new type of coulter, which eliminates all the described shortcomings. The combined opener is installed on the SZ-5,4 seeder and tested when sowing cereals in the field.*

Keywords: *uniformity of seed distribution, quality of sowing, double disc coulter, seed guide, ripper, cereals.*

Введение. При посеве семян зерновых культур наиболее важными показателями, являются равномерность распределения семян по глубине и длине рядка, которые влияют на повышение урожайности. Однако существующие сошники сеялок для посева семян зерновых культур не в полной мере отвечают этим требованиям. В связи с этим, при производстве зерновых культур, разработка сошника, отвечающего агротехническим требованиям при посеве, является актуальной [1-4].

Результаты и обсуждение. Для решения поставленной задачи в Пензенском ГАУ была разработана конструктивно-технологическая схема работы комбинированного сошника (Заявка

в ФИПС № 2017101930 от 20 января 2017 года на патент «Сошник»). Схема сошника приведена на рисунке 1.

Комбинированный сошник содержит корпус 1 (рисунок 1), два диска 2, направитель 3 семян и рыхлитель 4 установленных ниже воронки 5 горловины 6 корпуса 1 сошника. При помощи раструба 7 направитель 3 семян соединен с воронкой 5. Нижняя отогнутая часть 8 рыхлителя 4 имеет выходное отверстие 9. При этом отогнутая часть 8 рыхлителя 4 выполнена в форме клина 10. Снизу клина 10 прикреплена неподвижно пятка 11 с подошвой 12, при этом в передней части пятки 11 установлено наклонное овальное ребро 13. Рыхлитель 4 и направитель 3 семян закреплены неподвижно к корпусу 1 сошника с помощью кронштейна 14, усиленного ребром жесткости 15, причем кронштейн 14 установлен по месту крепления внутренних чистиков 16 сошника.

При работе сошников зерновых сеялок во многих процессах имеет место отражение семян при их падении и при выбросе семян на дно борозды. Чтобы предотвратить эти негативные факторы необходимо знать траекторию движения семени.

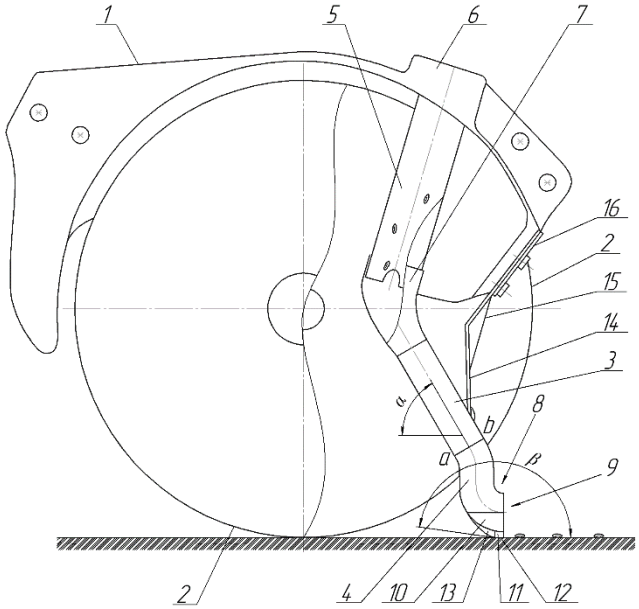


Рисунок 1 – Технологическая схема работы комбинированного сошника

Для исследования движения семян с учетом сопротивления воздуха введем неподвижную систему координат $Oxyz$ (рисунок 2) [5,6]. Точка O совпадает с положением центра масс зерна в момент времени $t = 0$. Ось Ox горизонтальна, ось Oy — вертикальна (ее положительная полуось направлена вниз).

Пусть m - масса зерна; x, y, z — текущие координаты его центра массы; $R = \{R_x, R_y, R_z\}$ - вектор силы сопротивления воздуха; $v = \{v_x, v_y, v_z\} = \{\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}\}$ - вектор скорости центра масс зерна. Экспериментально установлено, что вектор R коллинеарен вектору скорости и противоположно ему направлен, т. е. $R^0 = -v^0$, где $R^0 = \frac{R}{|R|}$, $v^0 = \frac{v}{|v|}$; сила R зависит только от скорости: $R = mgf(v)$, где функция $f(v) \geq 0$ монотонно возрастающая, причем $f(0) = 0$.

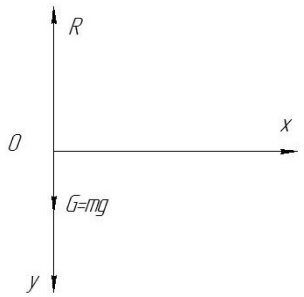


Рисунок 2 - Схема к расчёту движения семени

Так как на зерно действуют сила собственного веса и сила сопротивления воздуха, уравнения движения его имеют вид:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = R_x; \qquad (1)$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = R_y - mg;$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = R_z; \qquad (2)$$

в силу коллинеарности векторов R и v

$$R_x = k\frac{dx}{dt};\ R_y = k\frac{dy}{dt};\ R_z = k\frac{dz}{dt},$$

где k — безразмерный коэффициент равный модулю силы сопротивления воздуха, приходящейся на единицу массы движущейся точки М, при скорости его, равной единице, и имеет размерность с-1 (k = 0,7): k = const.

Подставив значения R_x и R_z в уравнения (1) и (2), получим

$$\frac{\frac{d^2x}{dt^2}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{k}{m},\quad \frac{\frac{d^2z}{dt^2}}{\frac{dz}{dt}} = \frac{k}{m},$$

приравняв данное выражение получим

$$\frac{1}{\dot{z}}\frac{d\dot{z}}{dt} = \frac{1}{\dot{x}}\frac{d\dot{x}}{dt} \qquad (3)$$

Интегрируя выражение (3), получаем уравнение плоскости, которое может быть представлено в параметрическом виде

$$x = t;\ z = C_1t+C_2. \qquad (4)$$

Уравнение (4) в силу начальных условий $z(t=0)=0$ приводится к z = 0, откуда следует, что центр массы зерна движется в плоскости z = 0 (т. е. в плоскости *Oxy),* т.е. его траектория является плоской кривой. Это обстоятельство дает возможность ввести вторую, подвижную систему координат, в качестве осей новой системы выберем касательную и нормаль к траектории центра массы зерна (рисунок 3).

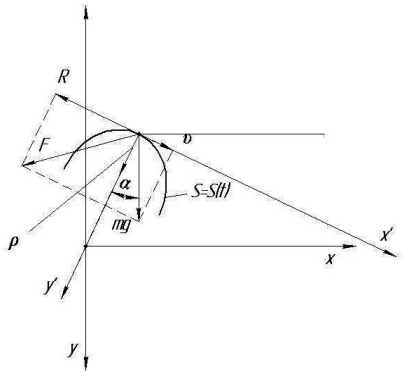


Рисунок 3 - Схема движения семени

Составим уравнения движения в проекциях на оси подвижной системы. Пусть $S = s\ (t)$ - криволинейная абсцисса центра массы зерна (длина дуги траектории, отсчитываемая от начального положения), $\upsilon = \frac{ds}{dt}$ - скорость, ρ = ρ (*t*) – радиус кривизны траектории, $\alpha = \alpha\ (t)$ — угол между положительным направлением оси *Ox* и вектором v = v *(t)* мгновенной скорости. Тогда вектор силы тяжести (равный по абсолютной величине *mg)* образует следующие углы с подвижными осями координат: с касательной осью $\frac{\pi}{2} - \alpha$, с нормальной – *α*. Проекции этой силы на указанные выше оси равны соответственно

$$mg\ \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha) = mg\ \sin\ \alpha \text{ и } mg\ \cos\ \alpha.$$

Вторая действующая на зерно сила - сопротивление воздуха, равна по абсолютной величине *mgf (υ).* Вектор ее коллинеарен вектору υ и противоположно ему направлен, а проекция ее на касательную подвижную ось равна *mgf (υ),* на нормальную ось - нулю. При этом, как известно касательная проекция ускорения равна $a_\tau = \frac{dv}{dt}$, а нормальная – $a_n = \frac{\upsilon^2}{\rho}$.

Уравнение движения зерна *F = mw* (*F* — равнодействующая сил тяжести и сопротивления воздуха) примет вид:

в проекции на касательную ось

$$m\frac{dv}{dt} = mg\ \sin\ \alpha - mgf\ (v),$$

или

$$\frac{dv}{dt} = g[\sin\ \alpha - f(v)];$$

в проекции на нормальную ось

$$m\frac{v^2}{\rho} = mg\ \cos\ \alpha,$$

или

$$\frac{v^2}{\rho} = g\cos\ \alpha.$$

Следовательно, для нахождения траектории центра массы зерна и определения закона его движения по траектории имеем систему уравнений:

$$\frac{dv}{dt} = g[\sin\ \alpha - f(v)]\ ; \tag{5}$$

$$\frac{v^2}{\rho} = g\cos\ \alpha\ . \tag{6}$$

Пологая, что $\rho = \frac{dS}{d\alpha} = \frac{dS}{dt} : \frac{d\alpha}{dt} = \frac{v}{\dot{\alpha}}$, уравнение (6) примет вид

$$v\frac{d\alpha}{dt} = g\cos\ \alpha\ . \tag{7}$$

Время t в эту систему входит не явно, а лишь посредством дифференцирования. Систему можно свести к одному дифференциальному уравнению первого порядка, что допустимо, так как $\frac{d\alpha}{dt} \neq 0$, тогда получим после преобразования

$$\frac{dv}{d\alpha} = vtg\ \alpha - \frac{vf\ (v)}{\cos\ \alpha}\ . \tag{8}$$

Уравнение (8) - дифференциальное уравнение движения центра массы зерна. Для однозначного определения скорости v через угол α необходимо рассмотреть начальное условие. Для его получения исходим из того, что горизонтальная составляющая начальной скорости зерна равна v_{x0}, а вертикальная – v_{y0}. Поэтому при $t = 0$

$$v = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2}\ ,\quad \alpha = arctg\ \frac{v_{y0}}{v_{x0}}$$

Искомым начальным условием является

$$v\,|_{\alpha = arctg\ \frac{v_{y0}}{v_{x0}}} = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} \tag{9}$$

Уравнение (8) имеет единственное решение $v = \varphi\ (\alpha)$, удовлетворяющее начальному условию (9). Для нахождения в явном аналитическом виде этого решения должна быть задана функция $f\ (v)$, т. е. закон изменения силы сопротивления воздуха. Подставляя значение $v = \varphi\ (\alpha)$ в уравнение (7), решая его получим

$$t = \frac{1}{g}\int_{arctg\ \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{\varphi(\alpha)}{\cos\ \alpha} d\alpha \tag{10}$$

Найдем теперь текущие координаты центра массы зерна в неподвижной системе координат, что равносильно определению траектории в параметрическом виде. Имеем

$$\frac{dx}{dt} = v_x = v\cos\ \alpha = \varphi(\alpha)\cos\ \alpha\ ,$$

откуда

$$dx = \varphi\ (\alpha)\ cos\ \alpha\ dt. \tag{11}$$

Подставив вместо t в уравнение (11) его значение из выражения (10), и решая дифференциальное уравнение получим

$$x = \frac{1}{g}\int_{arctg\ \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} [\varphi(\alpha)]^2 d\alpha\ . \tag{12}$$

Аналогично найдем

$$y = \frac{1}{g} \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} [\varphi(\alpha)]^2 tg\, \alpha\, d\alpha\ . \qquad (13)$$

Таким образом, выражения 12 и 13 являются уравнениями траектории центра массы зерна в параметрическом виде.

Полученные результаты верны при любом законе изменения силы сопротивления воздуха движению зерна, так как выведенные формулы содержат функцию *φ (α)*, зависящую от функции *f (v)*, которая описывает этот закон. Как установлено экспериментально, закон изменения силы сопротивления воздуха может быть с высокой степенью точности описан степенной функцией Маиевского-Забудского

$$f(v) = \lambda v^m\ , \qquad (14)$$

где λ и m — постоянны при изменении скорости v в определенном промежутке.

Для общепринятого в аэродинамике степенного закона изменения силы сопротивления воздуха, решение уравнения (8) выражается в аналитическом виде в элементарных функциях. В самом деле, подставляя в выражение (8) вместо $f(v)$ его значение по формуле (134), получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dv}{d\alpha} = v tg\ \alpha - \frac{\lambda v^{m+1}}{\cos\ \alpha}\ . \qquad (15)$$

Решая данное дифференциальное нелинейное уравнение, получим значение скорости в

$$v = \frac{1}{\cos\ \alpha \sqrt[m]{\lambda m \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^{m+1} \alpha} + (\frac{1}{v_{x0}})^m}}\ . \qquad (16)$$

Из уравнений (10) и (16) находим зависимость между *t и α:*

$$t = \frac{1}{g} \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\sqrt[m]{\lambda m \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^{m+1} \alpha} + (\frac{1}{v_{x0}})^m} \cos^2 \alpha}\ . \qquad (16)$$

Подставляя в выражения (12) и (13) значение *v = φ (α)* из формулы (16), найдем уравнение траектории центра массы зерна

$$x = \frac{1}{g} \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha \sqrt[m]{\left(\lambda m \int_{arctg \frac{v_{y0}}{v_{x0}}}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^{m+1} \alpha} + (\frac{1}{v_{x0}})^m \right)^2}}\ ;$$

Выводы. Таким образом, предложена новая конструкция комбинированного сошника, приведены аналитические зависимости для определения конструктивных и режимных параметров, которые могут использоваться проектными организациями, инженерно-техническими работниками, занимающимися разработкой и эксплуатацией посевных машин.

Список литературы

1. Посевные машины. Теория, конструкция, расчет / Н. П. Ларюшин, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев и др. – М.: Росинформагротех, 2010. – 292 с., ил.

2. Ларюшин, Н.П. Ресурсосберегающие технологии в полеводстве. Посевные машины и комплексы / Н.П. Ларюшин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 341 с., ил.

3. Ларюшин, Н.П. Современные посевные машины: учебное пособие / Н.П. Ларюшин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 100 с.

4. Ларюшин, Н.П. Технологии и комплексы машин в растениеводстве / Н.П. Ларюшин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 167 с.

5. Теоретические и экспериментальные исследования новых рабочих органов сеялки: теория, конструкция, расчет: [монография] / Н. П. Ларюшин [и др.]. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – 184 с.

6. Ларюшин, Н. П. Теоретические исследования сошника с бороздообразующим рабочим органом / Н. П. Ларюшин, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев // Нива Поволжья. – 2010. – № 1. – С. 58-61.

References

1. Sowing machines. Theory, construction, calculation / NP Larushin, AV Machnev, VV Shumaev, etc. - Moscow: Rosinformagrotekh, 2010. - 292 p., Ill.

2. Laryushin, N.P. Resource-saving technologies in field cultivation. Seeding machines and complexes / N.P. Laryushin. - Penza: RIO PSAA, 2015. - 341 p., Ill.

3. Laryushin, N.P. Modern sowing machines: a tutorial / N.P. Laryushin. - Penza: RIO of PSPA, 2007. - 100 s.

4. Laryushin, N.P. Technologies and complexes of machines in plant growing / N.P. Laryushin. - Penza: RIO PSAA, 2016. - 167 p.

5. Theoretical and experimental studies of new working organs of the seeder: theory, construction, calculation: [monograph] / NP Laryushin [and others]. - Penza: RIO PSAA, 2013. - 184 p.

6. Laryushin, NP Theoretical Investigation of the Opener with a Borrow-Forming Operating Body. NP Laryushin, AV Machnev, VV Shumaev, Niva of the Volga Region. - 2010. - No. 1. - P. 58-61.

УДК 637.116

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОЕНИЯ

Доровских Владимир Иванович
кандидат технических наук, доцент, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
E-mail: dorovskih50@mail.ru

Доровских Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, E-mail: dima.dorovskikh@yandex.

Реферат. *Известно, что основным резервом роста эффективности производства животноводческой продукции является обеспечение качества технологических процессов. Изучали процесс молоковыведения.* Установлено, что качество процесса доения животных определяется уровнем полноты выдаивания в течение заданного промежутка времени без каких-либо вредных последствий для организма животного. *Предложено управлять функционированием биотехнической системы в процессе доения путем регулирования*

параметров доильных установок, используя информацию о функциональных особенностях каждого животного. Разработан способ оценки соответствия параметров доильных аппаратов и показателей молокоотдачи животных. Создана методика оценки снижения продуктивности животных в конкретных условиях производства и обоснования оптимальных режимов доения на основе разработанного способа. Для управления функционированием биотехнической системы в процессе доения используют технологические адаптеры, представляющие собой комплекс мероприятий, направленных на более полную реализацию биологического потенциала животных при использовании существующих технологий и машин. Система управления качеством доения реализуется в виде отдельного блока к существующим типам стационарных доильных установок, а для линейных установок производится ранжирование коров в группах, деление на подгруппы по количеству линий и на каждой из линий используются аппараты с различным соотношением тактов. Базой для разработки алгоритмов оценки и управления качеством технологических процессов являются закономерности влияния параметров машин и показателей состояния животных на конечные результаты производства.

Ключевые слова: *качество, доение, продуктивность, режимы, резервы эффективности, параметры молоковыведения.*

INCREASE OF COW PRODUCTIVITY AT ACCOUNT PROVISION OF QUALITY OF MILKING

Dorovskih Vladimir,
Ph.D., Associate Professor, Leading Researcher, of the FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Production in Agriculture, Tambov,
E-mail: dorovskih50@mail.ru
Dorovskih Dmitry,
Ph.D., Associate Professor, Researcher, FGBOU VPO "the Tambov state technical University", Tambov, E-mail: dima.dorovskikh@yandex.

Abstract. *It is known that the main reserve for increasing the efficiency of livestock production is to ensure the quality of technological processes. The lactation process was studied. It is established that the quality of the milking process of animals is determined by the level of completeness of milking during a given period of time without any harmful consequences for the animal's organism. It is proposed to control the functioning of the biotechnical system in the milking process by regulation of the parameters of the milking plants, using information about the functional characteristics of each animal. The method for assessing the compliance of parameters of milking machines and indicators of milk yield of animals has been developed. The method for assessing the decline in animal productivity in specific production conditions and the rationale for optimal milking regimens based on the developed method is created. Technological adapters, representing a complex of measures aimed at a more complete realization of the biological potential of animals using existing technologies and machines, are used to control the functioning of the biotechnical system during the milking process. The milking quality management system is implemented as a separate unit to existing types of stationary milking plants, and for linear installations, cows are ranked in groups, divided into subgroups by the number of lines, and devices with different ratios of cycles are used on each of the lines. The basis for the development of algorithms for assessing and managing the quality of technological processes are the patterns of the influence of machine parameters and indicators of the state of animals on the final results of production.*

***Keywords**: quality, milking, productivity, regimes, efficiency reserves, parameters of lactation.*

Введение. Известно, что основным резервом роста эффективности производства животноводческой продукции является обеспечение качества технологических процессов. Анализ отечественного и зарубежного опыта производства молока показал, что основным резервом повышения эффективности отрасли является более полная реализация биологического потенциала животных [1,2]

Ключевую позицию при этом занимает процесс доения, так как без обеспечения его физиологичности другие факторы производства не реализуются. Управление биотехнической системой, основанное на подборе стада дает положительный результат, но связано с большими затратами времени и материальных средств и в принципе не может обеспечить, эффективное управление секреторной функцией организма животного. Современный уровень знаний о процессе молокоотдачи, возможности ЭВМ, наличие необходимой элементной базы позволяет перейти на управление качеством функционирования биотехнической системы в процессе доения путем регулирования параметров доильных установок. Система управления основана на использовании информации о функциональных особенностях каждого животного. Реализуется такая система путем создания технологических адаптеров, представляющих собой комплекс мероприятий, направленных на более полную реализацию биологического потенциала животных при использовании существующих технологий и машин. Система управления качеством доения реализуется в виде отдельного блока к существующим типам стационарных доильных установок, а для линейных установок производится ранжирование коров в группах, деление на подгруппы по количеству линий и на каждой из линий используются аппараты с различным соотношением тактов.

Материалы и методы исследований. Основные требования к качеству процесса доения животных можно свести к обеспечению высокого уровня полноты выдаивания в течение заданного промежутка времени без каких-либо вредных последствий для организма животного. Для выполнения этих требований необходимо: стимулировать полноценный рефлекс молокоотдачи животного; осуществить своевременное подключение и снятие доильного аппарата; обеспечить соответствие режимов работы доильного аппарата параметрам молокоотдачи в течение всего периода молоковыведения.

В реальных условиях производства выполнение этих требований затрудняется по целому ряду причин: значительное разнообразие морфологических и функциональных свойств вымени животных; отсутствие достаточно объективных методов оценки показателей молокоотдачи; отсутствие количественной оценки отсасывающей способности различных типов доильных аппаратов; низкая эффективность существующих методов адаптации режимных параметров доильных машин к разнообразию функциональных свойств вымени животных.

В силу этих причин обеспечение качества процесса доения животных осуществляется путем подбора животных по их соответствию режимам работы доильного аппарата. С позиций общей теории управления этот принцип можно сформулировать как уменьшение разнообразия объектов управления до разнообразия системы управления. Использование этого метода в странах с развитым молочным скотоводством в течение последних 50 лет позволило получить внутрипородные популяции животных, обладающие высокой интенсивностью молокоотдачи, в результате чего удалось повысить продуктивность коров в 2,5…3 раза.

Однако следует заметить, что проблема до конца не решена. При тщательном селекционном подборе стада процент выбраковки коров на ранних стадиях лактации остается высоким. Кроме того, не удается обеспечить абсолютного соответствия показателей молокоотдачи животных параметрам доильного аппарата. Поэтому даже при использовании самых современных роботизированных доильных машин осуществляется деление стада на 2…3 группы по продуктивности и интенсивности молокоотдачи.

Результаты исследований. Для обеспечения качества процесса молоковыведения нами разработан способ оценки соответствия параметров доильных аппаратов и показателей молокоотдачи животных [3] и на его базе создана методика оценки снижения продуктивности животных в конкретных условиях производства и обоснования оптимальных режимов доения.

Основные положения методики сводятся к следующему.

1. На основе стендовых испытаний в соответствии со способом оценки соответствия параметров доильных аппаратов и показателей молокоотдачи животных определяется отсасывающая способность доильного аппарата (E) для различных значений параметров: рабочего вакуума (P) и относительной длительности такта сосания (τ).

2. На основе контрольных доек проводимых с использованием доильного аппарата с известной отсасывающей способностью (E) определяется для всех коров: разовый удой (Q_i); максимальная и средняя интенсивность молоковыведения (G_i, $\overline{G_i}$), коэффициент K: $K_i = G_i / \overline{G_i}$.

3. Вычисляется для всех коров параметр тугодойности (F): $F_i = \dfrac{Gi}{E}$.

4. Задается оптимальное значение периода молоковыведения (T_i) в секундах для каждой коровы, например, из условия $T_i = 60\,(3 + 0{,}2 Q_i)$.

5. Вычисляется для каждой коровы средняя интенсивность молоковыведения, необходимая для выведения молока за заданный период T_i: $\overline{G_i} = Q_i / T_i$.

6. Вычисляется максимальная интенсивность молоковыведения для каждой коровы: $G_i = K\overline{G_i}$.

7. Вычисляется значение отсасывающей способности доильного аппарата для каждой коровы, необходимое для выведения молока за оптимальный период (T_i): $E_i = G_i / F_i$.

На основе данных пункта 1 выбираются параметры доильного аппарата (начиная с минимального значения вакуума) соответствующие вычисленному значению отсасывающей способности доильного аппарата для каждой коровы.

Осуществить доение коров с выбранными для каждой из них параметрами доильного аппарата.

Процесс управления качеством доения осуществляется следующим образом. Все коровы стада по полученным данным (пункт 7) ранжируются по значению отсасывающей способности. Затем все стадо делится на количество групп равное количеству используемых доильных установок, но не более 4. Для каждой из этих групп назначается вакуумный режим из условия:

$$P_i = \frac{\rho}{2}\left(\frac{E_{\max}}{\mu\tau_{\max}}\right)^2.$$

Управление в группах осуществляется путем изменения соотношения тактов. На доильных установках, оборудованных компьютерной системой идентификации животных и

компьютерной системой управления соотношением тактов, возможно задание соотношения тактов для каждого животного по заданной программе. При доении коров на линейных доильных установках производится ранжирование коров в группах, деление на подгруппы по количеству линий и на каждой из линий используются аппараты с различным соотношением тактов, например, 50:50; 60:40; 65:35; 70:30. Для них определяются значения отсасывающей способности: E_1; E_2; E_3; E_4 и в соответствии с данными пункта 1 определяется соотношение тактов при заданном вакуумном режиме.

Путем проведения контрольных доек определяются максимальная интенсивность молокоотдачи, разовый удой (утро, вечер) и период молокоотдачи. Контрольные дойки проводятся три раза с интервалом в один месяц. Значения показателей молокоотдачи принимаются как средние результатов трех контрольных доек.

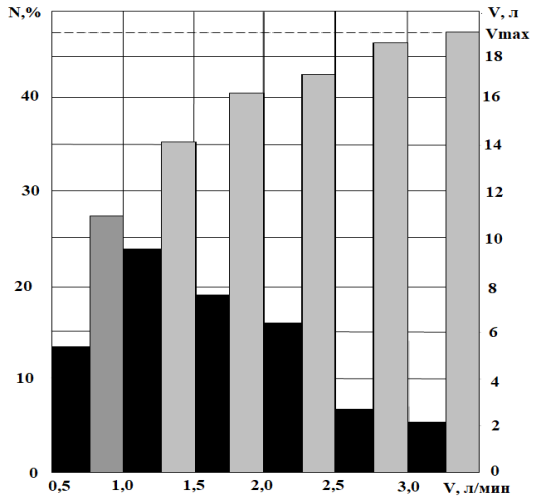
На основе полученных данных строится вариационный ряд животных по тугодойности (максимальной интенсивности молокоотдачи), осуществляется его интервальная разбивка и строится гистограмма распределения. Для каждого интервала определяется средний суточный удой.

Величина суточных потерь продукции от несоответствия режимов доения функциональным свойствам вымени животных определяется из выражения:

$$П = \overline{У}_{\max} N - \sum_{1}^{n-1} \overline{У}_i m_i ,$$

где $П$ - потери продукции, л; $У_{\max}$ – максимальный суточный удой по интервалам, л; N – количество коров в стаде, шт.; $\overline{У}_i$ - средняя продуктивность животных по i-му интервалу, л; m_i - количество коров в i-м интервале, шт.; n – количество интервалов, шт.

На рисунке 1 представлена реальная ситуация состояния стада в АО «Голицыно» Никифоровского района Тамбовской области.



- количество коров в i-ом интервале, %; - продуктивность коров, л/сутки

Рисунок 1 - Распределение коров в стаде по интенсивности молокоотдачи и соответствующей продуктивности в АО «Голицыно

У 67,1 % коров максимальная интенсивность молоковыведения ниже уровня 2,0 л/мин. Коров с интенсивностью молоковыведения выше 3,0 л/мин, которые в наибольшей степени соответствуют специфике машинного доения всего 5,0 %. Распределение животных в стаде по интенсивности молоковыведения носит явно выраженный усеченный характер с преобладанием тугодойных коров. Такая ситуация обусловлена, как правило, большой

вероятностью выбраковки легкодойных коров в результате травмирования молочной железы в процессе доения и заболевания маститом. Особенно часто такая ситуация проявляется при несоблюдении режимов доения и некачественном выполнении подготовительно-заключительных операций. Характерная ситуация представлена на рисунке 2. При преждевременном подключении доильного аппарата до наступления припуска молока цистернальная порция извлекается со средней интенсивностью 2,8, а затем снижается до 0,5 л/мин. В это время сфинктер соска расслаблен, вакуум проникает во внутреннюю полость соска и может его травмировать и вызвать заболевание маститом.

Рисунок 2 – Функция молоковыведения.

Анализ зависимости продуктивности животных от интенсивности молоковыведения показал существенную корреляционную связь между указанными параметрами.

Анализ зависимости продуктивности животных от интенсивности молоковыведения показал существенную корреляционную связь между указанными параметрами. Суточный надой повышается с увеличением интенсивности молоковыведения, причем зависимость носит степенной характер. С увеличением интенсивности молоковыведения прирост продуктивности снижается. Согласно исследованиям по физиологии процесса молоковыведения такая закономерность обусловлена уменьшением полноты выдаивания с ростом тугодойкости коров, вследствие чего снижается активность секреции молока [4].

Указанная зависимость может быть аппроксимирована уравнением:

$$У = У_{ср}\, e^{-v},$$

где $У_{ср}$ – средняя продуктивность животных.

Результаты оценки влияния режимов доения на уровень использования потенциальных возможностей стада применительно к производственным условиям АО «Голицыно» представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка влияния режимов доения на уровень использования потенциальных возможностей стада.

Показатели	Значение показателя
Фактический суточный надой ($Q_ф$), л	3736
Потенциальный суточный надой $\overline{У}_{max} \cdot N$, л	4440
Суточные потери ($П$), л	704
Уровень использования потенциала стада ($У_{ип}$), %	84,1
Резерв повышения продуктивности ($У_р$), %	15,9

Из анализа полученных данных видно, что резерв увеличения продуктивности коров за счет повышения качества процесса доения составляет 15,9 %.

Реализация резерва может быть достигнута за счет изменения структуры стада, повышения качества проведения подготовительно-заключительных операций, внедрения адаптивных систем управления процессом молоковыведения.

Заключение. Основным резервом повышения эффективности производства молока является повышение продуктивности коров на основе разработки и применения новых технологий, обеспечивающих полную их адаптацию к физиологическим потребностям животных. Важнейшим условием решения задач повышения эффективности технологий в молочном скотоводстве является разработка методов количественной оценки состояния животных и параметров машин, а также соответствующих средства приборного контроля. Базой для разработки алгоритмов оценки и управления качеством технологических процессов являются закономерности влияния параметров машин и показателей состояния животных на конечные результаты производства.

Список литературы

1. Курак А.С., Барановский М.В., Кажеко О.А, Шляхтицев Д.В., Яковчик Н.С. Реализация рефлекса молокоотдачи при доении коров на различных доильных установках //Зоотехническая наука Беларуси. 2012.Т. 47. № 1. С. 263-270.

2. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, С.Н. Сазонов.-М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 616 с.

3. Доровских В.И. Способ оценки соответствия показателей молокоотдачи животного и параметров доильного аппарата / Патент РФ №2109935/ Бюллетень № 25 от 10.09. 99.

4. Кокорина Э.П. Прохоренко П.Н. Высокоэффективное машинное доение (Способ ВНИИГРЖ) /Матеріали XII міжнародного симпозіуму з питань машинного доіня корів/ Глеваха 2005.

References

1. Kurak A.S., Baranovskij M.V., Kazheko O.A, Shljahticev D.V., Jakovchik N.S. Reali-zacija refleksa molokootdachi pri doenii korov na razlichnyh doil'nyh ustanovkah //Zootehnicheskaja nauka Belarusi. 2012.T. 47. № 1. S. 263-270.

2. Spravochnik fermera / V.N. Kuz'min, V.F. Fedorenko, S.N. Sazonov.-M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2013. 616 s.

3. Dorovskih V.I. Sposob ocenki sootvetstvija pokazatelej molokootdachi zhivotnogo i parametrov doil'nogo apparata / Patent RF №2109935/ Bjulleten' № 25 ot 10.09. 99.

4. Kokorina Je.P. Prohorenko P.N. Vysokojeffektivnoe mashinnoe doenie (Sposob VNIIGRZh) /Materiali XII mizhnarodnogo simpoziumu z pitan' mashinnogo doinja koriv/ Gle-vaha 2005.

УДК 637.116

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ПРИ ЕЕ УСТАНОВКЕ В ДОИЛЬНЫЙ СТАКАН

Доровских Владимир Иванович
кандидат технических наук, доцент, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
E-mail: dorovskih50@mail.ru
Доровских Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, E-mail: dima.dorovskikh@yandex.

Реферат. *Ранее установлено, что величина натяжения сосковой резины в доильном стакане влияет на соотношение тактов доильного аппарата, давление сосковой резины на кончик соска. Выявлено, что указанные параметры должны находиться в зоне оптимальных значений, в противном случае в процессе доения проявляются негативные последствия: снижение интенсивности молоковыведения из-за недостаточного массажа соска во время доения или избыточное воздействие на соски со стороны чулка сосковой резины, вызывающее нарушение кровообращения и приводящее к гиперкератозу кончика соска. Влияние силового воздействия сосковой резины на сосок исследовали. Установлено, что при монтаже сосковой резины в стакан или изменении величины его деформации натяжение чулка стабилизируется постепенно с течением времени. Показано, что окончательная стабилизация натяжения чулка при переводе сосковой резины из недеформированного состояния в первое положение составляет около 100 минут, во второе положение около 150 минут и в третье положение около 230 минут. Изменение относительной длительности такта сосания в диапазоне натяжения сосковой резины 10…60 Н незначительно и составляет около 2,8%. Установлено, что относительная длительность такта сосания в течение периода стабилизации, равного 30 минутам изменяется в пределах 0,610…0,617, величина сверхдавления возрастает от 6,4 кПа до 11,7, кПа. Диапазон регулировки давления на сосок изменением рабочего вакуума и натяжения сосковой резины составляет около 35% диапазона допустимых значений (8 - 12 кПа).*

Ключевые слова: *доение, сосковая резина, релаксация, параметры процесса, регулирование.*

RESEARCH OF RELAXATION OF TENSION OF NIPPLE RUBBER AT ITS INSTALLATION INTO THE TEAT CUP

Dorovskih Vladimir,
Ph.D., Associate Professor, Leading Researcher, of the FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Macninery and Oil Productsin in Agriculture,Tambov, E-mail: dorovskih50@mail.ru
Dorovskih Dmitry,
Ph.D., Associate Professor, Researcher, FGBOU VPO "the Tambov state technical University", Tambov, E-mail: dima.dorovskikh@yandex.

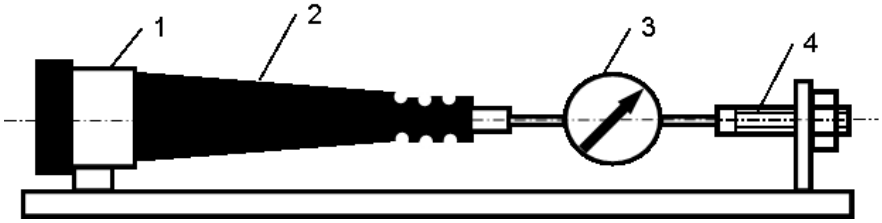
Abstract. *It was previously established that the value of the tension of the nipple rubber in the teat cup affects to the ratio of the clock cycles of the milking machine, the pressure of the nipple rubber on the tip of the teat. It has been found that these parameters should be in the zone of optimal values, otherwise negative consequences occur during the milking process: a decrease in the intensity of lactation due to insufficient nipple massage during milking or excessive influence on the nipples from the side of the teat cup liner causing a blood circulation disorder and leading to Hyperkeratosis of the tip of the nipple. The effect of the force action of the nipple rubber on the nipple was examined.It is established that when installing a teat cup liner in a glass or changing the amount of its deformation, the tension of the stocking stabilizes gradually over time. It is shown that the final stabilization of the tension of the stocking when transferring the nipple rubber from the undeformed state to the first position is about 100 minutes, to the second position about 150 minutes and to the third position about 230 minutes. The change in the relative duration of the sucking cycle in the*

tension range of teat rubber 10 ... 60 N is negligible and is about 2.8%. It is established that the relative duration of the sucking cycle during the stabilization period of 30 minutes varies within 0.610 ... 0.617, the value of overpressure increases from 6.4 kPa to 11.7 kPa. The adjustment range of the pressure on the nipple by changing the working vacuum and the tension of the teatcup liner is about 35% of the permissible range (8 - 12 kPa).

Keywords: *milking, nipple rubber, relaxation, process parameters, regulation.*

Введение. Ранее установлено, что величина натяжения сосковой резины в доильном стакане влияет на соотношение тактов доильного аппарата, давление сосковой резины на кончик соска. Необходимо подобрать оптимальные значения этих параметров, в противном случае в процессе доения проявляются негативные последствия: снижение интенсивности молоковыведения из-за недостаточного массажа соска во время доения или избыточное воздействие на соски со стороны чулка сосковой резины, вызывающее нарушение кровообращения и приводящее к гиперкератозу кончика соска. В данной работе с этой целью исследовали влияние силового воздействия сосковой резины на сосок.

Материалы и методы исследований. Для выявления характера изменения свойств сосковой резины были проведены экспериментальные исследования, с использованием установки, схема которой показана на рисунке 1.



1 – кольцо установочное; 2 резина сосковая; 3 – динамометр;
4 – винт регулировочный

Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

Работа установки осуществляется следующим образом. Сосковая резина 2 устанавливается в положение 1 (относительная деформация ε = 0,075), снимаются показания динамометра 3 в течение времени стабилизации натяжения, затем регулировочным винтом 4 сосковая резина переводится в положение 2, где величина деформации составляет ε = 0,150, также снимаются показания динамометра, после сосковая резина переводится в положение 3, где величина деформации составляет ε = 0,225 и фиксируются те же параметры. Для измерения параметров сосковой резины со снижающейся деформацией процесс проводиться в обратном порядке. Сосковая резина из положения 3 натяжным винтом переводиться в положение 2, а затем в положение 1.

Результаты исследований. Результаты эксперимента по определению релаксации напряжения сосковой резины модели ДД 00.041А для трех положений занимаемых ею в доильном стакане приведены на рисунке 2.

Стабилизация натяжения чулка в доильном стакане происходит постепенно, причем с увеличением натяжения время стабилизации увеличивается. При увеличении деформации чулка происходит постепенное снижение натяжения, а при уменьшении деформации – увеличение. Окончательная стабилизация натяжения чулка при переводе сосковой резины из недеформированного состояния в первое положение составляет около 100 минут, во второе

положение около 150 минут и в третье положение около 230 минут. Эту особенность следует учитывать при проведении исследований режимных параметров доильных аппаратов и в процессе эксплуатации при регулировке натяжения или замене сосковой резины.

Были проведены исследования по определению закономерностей изменения натяжения чулка сосковой резины различных моделей во времени, результаты которых представлены на рисунке 3. Приведенные результаты показывают. что силиконовая сосковая резина, выполненная с теми же геометрическими параметрами, что и резиновая модель ДД 00.041А, характеризуется большей величиной натяжения при одинаковой деформации и сам процесс релаксации проявляется быстрее и в меньшей мере. Для резины модели 0-513 характерно большее усилие натяжения в доильном стакане, чем у резины ДД 00.041А и силиконового аналога. У резины модели 528 диапазон усилий примерно такой же, как у модели 0-513 с учетом конструктивного исполнения.

Из графиков видно, что относительная стабилизация натяжения для резины наступает примерно через 5 минут, для силикона примерно через 1,5 минуты. Откуда следует, что метод настройки доильных аппаратов по величине растяжения при нагрузке ее массой 6 кг за время 6 с не обладает высокой достоверностью.

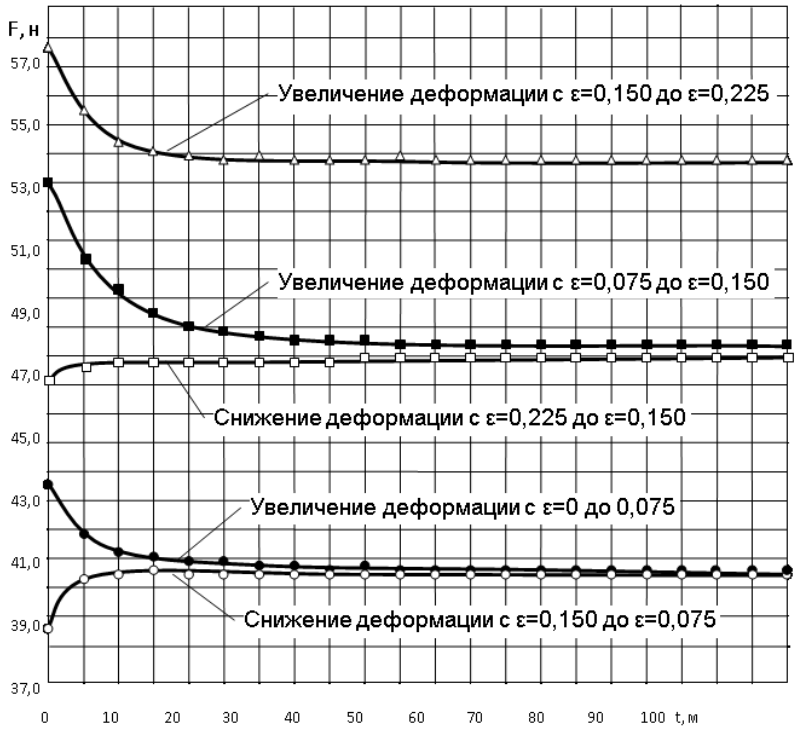


Рисунок 2 - Изменение натяжения чулка сосковой резины в доильном стакане в процессе установки или регулировки

Результаты исследования зависимости давления ($P_{сд}$) новой сосковой резины модели ДД.00.041А при различном натяжении (F) от рабочего вакуума ($P_р$) представлены на рисунке 4, из которого видно, что давление на сосок возрастает с увеличением вакуума и натяжения и носит нелинейный характер.

Полученные результаты показывают, что давление на сосок в процессе эксплуатации может регулироваться как рабочим вакуумом, так и натяжением сосковой резины, при этом диапазон регулировки составляет около 35% диапазона допустимых значений (8 - 12 кПа).

На основе результатов исследований разработан технологический регламент и технология диагностики и настройки доильных аппаратов при их эксплуатации, включающая проверку и регулировку давления сосковой резины на сосок [1 - 7].

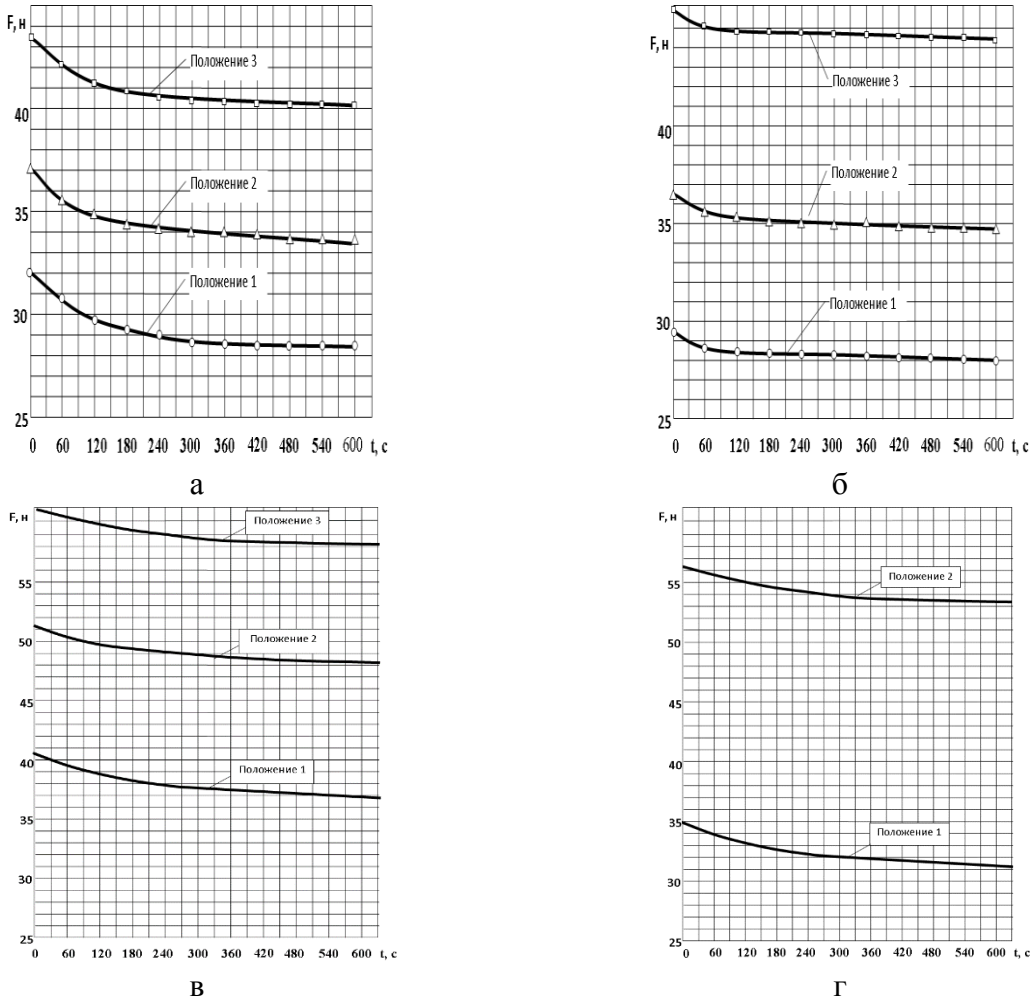


Рисунок 3 – Графики релаксации натяжения сосковых резин в доильном стакане при температуре 20 - 22°С моделей: а- ДД 00.041А (резина); б – аналог ДД 00.041А (силикон); в – модель 0-513; г – модель 0-528

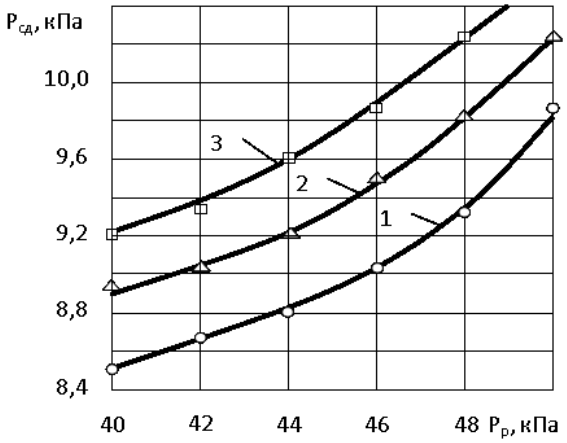


Рисунок 4 – Зависимости давления на сосок сосковой резины модели ДД.00.041А от рабочего вакуума при ее натяжении в доильном стакане:
1- F = 28,5H; 2- F=33,5H; 3- F=40,0H

Заключение. Анализ исследований влияния силового воздействия сосковой резины на сосок показал, что при низком давлении ухудшается массаж вымени и, как следствие, снижается интенсивность молоковыведения вплоть до закупорки выводного канала, а чрезмерное увеличение этого давления приводит к ухудшению кровообращения в соске и увеличению заболеваемости маститом и гиперкератозом. Принято считать, что оптимальный диапазон давлений сосковой резины на сосок находится в пределах 8-12 кПа.

Диапазон регулировки натяжения сосковых резин находится в пределах 37…58Н, а время релаксации напряжения при комнатной температуре до значения равного 98% от окончательного не превышает 10 минут.

Различные модели сосковых резин в процессе эксплуатации обеспечивают различную длительность такта сосания и, следовательно, различную отсасывающую способность доильного аппарата, разница при этом незначительна и составляет около 2,8%. Изменение относительной длительности такта сосания в процессе эксплуатации также невелико и колеблется в пределах 1 - 1,5%.

Зависимости давления различных типов сосковых резин на сосок, полученные в результате исследований показывают, что давление на сосок в процессе эксплуатации может регулироваться как рабочим вакуумом, так и натяжением сосковой резины, при этом диапазон регулировки составляет около 35% диапазона допустимых значений.

Список литературы

1. Доровских, В.И. Методика настройки доильного аппарата по критерию сверхдавления на кончик соска / В.И. Доровских, А.П. Дейнега, Д.В. Доровских // Сб. научных трудов ГНУ ВИИТиН №14. Повышение эффективности использования с/х техники. - Тамбов. - ГНУ ВИИТиН. - 2008. - с 130…135.

2. Доровских, В.И. Исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок животного / В.И. Доровских, Д.В. Доровских // Сб. научных докладов XVI Международной научно-практической конференции, 20 - 21 сентября 2011 г., г. Тамбов: Из-во Першина Р.В. - 2011 г. – с.70-72.

3. Доровских, В.И. Обоснование метода измерения давления сосковой резины на сосок / В.И. Доровских, Д.В. Доровских // Сб. научных докладов XVI Международной научно-практической конференции, 20 - 21 сентября 2011 г. г. Тамбов: Из-во Першина Р.В. - 2011 г. – с.73 - 75.

4. Доровских, В.И. Исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок животного / В.И. Доровских, А.П. Дейнега // Сб. трудов ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. Т.22. Ч.2 «Научно-технический прогресс в животноводстве - инновационные технологии и модернизации в отрасли». - Подольск. - 2011г. – с.114-120.

5. Доровских, В.И. Повышение качества доения регулированием давления сосковой резины на сосок / В.И. Доровских, Д.В. Доровских, И.Н. Хохлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. -№6. -С.12-13.

6. Доровских, В.И. Обоснование метода измерения давления сосковой резины на сосок при ее смыкании и устройства для его осуществления / В.И. Доровских, Д.В. Доровских, И.Н. Хохлов // Материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных (Минск – Гомель, 27 – 29 июня 2012 г.) Минск. НПЦ Беларуси по механизации сельского хозяйства. -2012. -С.325.

7. Доровских, В.И. Метод настройки доильных аппаратов по критерию давления сосковой резины на сосок / В.И. Доровских, Д.В. Доровских, И.Н. Хохлов // Вестник Всероссийского

научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2013. - №3 (11) – С. 78 - 82.

References

1. Dorovskikh, V.I. Metodika nastroyjki doiljnogo apparata po kriteriyu sverkhdavleniya na konchik soska / V.I. Dorovskikh, A.P. Deyjnega, D.V. Dorovskikh // Sb. nauchnihkh trudov GNU VIITiN №14. Povihshenie ehffektivnosti ispoljzovaniya s/kh tekhniki. - Tambov. - GNU VIITiN. - 2008. - s 130…135.

2. Dorovskikh, V.I. Issledovanie processa vozdeyjstviya soskovoyj rezinih na sosok zhivotnogo / V.I. Dorovskikh, D.V. Dorovskikh // Sb. nauchnihkh dokladov XVI Mezhdunarodnoyj nauchno-prakticheskoyj konferencii, 20 -2 1 sentyabrya 2011 g. g. Tambov: Iz-vo Pershina R.V. -2011 g. – s.70-72.

3. Dorovskikh, V.I. Obosnovanie metoda izmereniya davleniya soskovoyj rezinih na sosok / V.I. Dorovskikh, D.V. Dorovskikh // Sb. nauchnihkh dokladov XVI Mezhdunarodnoyj nauchno-prakticheskoyj konferencii, 20 - 21 sentyabrya 2011 g. g. Tambov: Iz-vo Pershina R.V. - 2011 g. – s.73 - 75.

4. Dorovskikh, V.I. Issledovanie processa vozdeyjstviya soskovoyj rezinih na sosok zhivotnogo / V.I. Dorovskikh, A.P. Deyjnega // Sb. trudov GNU VNIIMZh Rosseljkhozakademii. T.22. Ch.2 «Nauchno-tekhnicheskiyj progress v zhivotnovodstve - innovacionnihe tekhnologii i modernizacii v otrasli». - Podoljsk. - 2011g. – s.114-120.

5. Dorovskikh, V.I. Povihshenie kachestva doeniya regulirovaniem davleniya soskovoyj rezinih na sosok / V.I. Dorovskikh, D.V. Dorovskikh, I.N. Khokhlov // Tekhnika v seljskom khozyayjstve. – 2012. -№6. -S.12-13.

6. Dorovskikh, V.I. Obosnovanie metoda izmereniya davleniya soskovoyj rezinih na sosok pri ee smihkanii i ustroyjstva dlya ego osuthestvleniya / V.I. Dorovskikh, D.V. Dorovskikh, I.N. Khokhlov // Materialih XVI Mezhdunarodnogo simpoziuma po mashinnomu doeniyu seljskokhozyayjstvennihkh zhivotnihkh (Minsk – Gomelj, 27 – 29 iyunya 2012 g.) Minsk. NPC Belarusi po mekhanizacii seljskogo khozyayjstva. -2012. -S.325.

7. Dorovskikh, V.I. Metod nastroyjki doiljnihkh apparatov po kriteriyu davleniya soskovoyj rezinih na sosok / V.I. Dorovskikh, D.V. Dorovskikh, I.N. Khokhlov // Vestnik Vserossiyjskogo nauchno-issledovateljskogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. – 2013. - №3 (11) – S. 78-82.

УДК 631.354

МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Ерохин Геннадий Николаевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,E-mail: witin4@rambler.ru
Коновский Валерий Викторович
научный сотрудник, E-mail: witin4@rambler.ru
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов

Реферат. *Известно, что проведение уборки зерновых культур в сельхозпредприятии может выполняться по различным вариантам или сценариям использования зерноуборочных комбайнов. Выбор правильного сценария определяет эффективность всей уборочной компании. Предложено*

оптимальным считать сценарий с наименьшим значением потерь эффективности. Проведение исследований базируется на теоретических исследованиях и мониторинге работы зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации. В работе предлагается модель, характеризующая экономическую целесообразность сценария использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии по показателю - потери эффективности. Разработанная модель состоит из двух блоков. Первый блок предназначен для моделирования эксплуатационных показателей работы зерноуборочных комбайнов, имеющихся в сельхозпредприятии. Второй блок предназначен для моделирования разнообразных сценариев использования комбайнов. Эти сценарии формируются пользователем и могут отличаться по количеству, маркам применяемых комбайнов и условиям проведения уборки зерновых культур. Производственная апробация модели в сельхозпредприятии показала способность оценивать разнообразные сценарии использования зерноуборочных комбайнов. Получено, что обеспеченность рассматриваемого в качестве примера сельхозпредприятия зерноуборочными комбайнами, в случае вероятного выхода из строя двух комбайнов Дон-1500Б, критическая. Даже при благоприятных метеоусловиях и урожайности 35 ц/га экономически целесообразно приобретение одного комбайна Acros 585 или Палессе GS12. Ориентируясь на урожайность 45 ц/га и дождливый сезон целесообразно приобретение двух комбайнов Acros 585 или Палессе GS12.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, модель, эффективность.

MODEL THE USE OF COMBINE HARVESTERS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES

Erokhin Gennady,
PhD (Technical), leading researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru
Konovskiy Valery,
scientific researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru

Abstract. *It is known that the harvesting of grain crops in the agricultural enterprise can be carried out according to various options or scenarios for the use of combine harvesters. Choosing the right scenario determines the efficiency of the entire harvesting company. It was suggested that the scenario with the lowest value of efficiency loss should be considered optimal.The research is based on theoretical studies and monitoring of the operation of combine harvesters in real operation conditions. A model characterizing the economic feasibility of the scenario of the use of combine harvesters in the agricultural enterprise in terms of the indicator - the loss of efficiency is proposed in work. The developed model consists of two blocks. The first block is designed to simulate the operational performance of combine harvesters in the agricultural enterprise. The second block is intended for simulation of various scenarios for the use of harvesters. These scenarios are generated by the user and may vary in number brands of used harvesters, and the conditions of harvesting of grain crops. The production approbation of the model in the agricultural enterprise showed the ability to evaluate various scenarios for the use of combine harvesters.*

The security considered as an example of agricultural enterprises of combine harvesters, in the case of the likely failure of two harvesters don-1500B, critical. Even under favorable weather conditions and yield 35 t/ha is economically feasible to purchase a harvester Acros 585 or PALESSE GS12. Focusing on the productivity of 45 t/ha and the rainy season it is advisable purchase two harvesters Acros 585 or Palesse GS12.

Key words: *combine harvester, model, efficiency.*

Введение. Решая вопросы уборки зерновых культур, сельхозпроизводитель должен анализировать разнообразные сценарии использования зерноуборочных комбайнов. Основные из них:

- использовать весь имеющийся парк комбайнов;
- исключить из эксплуатации часть имеющихся комбайнов;
- ввести в эксплуатацию приобретенные новые зерноуборочные комбайны (импортные или отечественные) и использовать их совместно с имеющимся парком или его частью.

Спрогнозировать эффективность рассматриваемых сценариев очень сложная задача, при решении которой приходится учитывать влияние множества разнообразных факторов: условия проведения уборки зерновых культур в сельхозпредприятии, включая погодные; наличие, возраст и эксплуатационные затраты имеющихся зерноуборочных комбайнов; потребительские свойства зерноуборочных комбайнов, имеющихся у потребителя и планируемых к использованию; внешние экономические условия и предложения. Проведенные до настоящего времени исследования в этом направлении не позволяют дать однозначное решение этой задачи и обладают существенными недостатками.

На практике сельхозпроизводитель решает задачу выбора сценария использования зерноуборочных комбайнов, опираясь на свой опыт и интуицию, так как до настоящего времени не имеет доступных научно-обоснованных методов и средств. Поэтому разработка технико-математической модели использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии является актуальной.

Материалы и методы. Проведение исследований базируется на теоретических исследованиях и мониторинге работы зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации [1,2,3]. Полученная при мониторинге информация является исходной базой для практической апробации модели использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии.

Результаты и обсуждение. В ФГБНУ ВНИИТиН выполнена разработка модели использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии с учетом предшествующих исследований, согласно которым, эффективность любого варианта или сценария использования комбайнов на уборке зерновых культур можно оценить потерями эффективности [4,5]. Данный показатель представляет собой сумму явных и неявных затрат (или потерь) при выполнении комбайновой уборки в хозяйстве. К явным потерям относятся эксплуатационные затраты комбайновой уборки, состоящие из расходов: на ГСМ; на оплату труда; на амортизацию; на ТО и ремонт. К неявным – потери технологического эффекта. Составляющими потерь технологического эффекта при этом принимаются технологические потери зерна: непосредственно за жаткой и молотилкой комбайна [6,7]; связанные с дроблением и засоренностью бункерного зерна; обусловленные увеличением продолжительности уборочных работ.

Модель характеризует экономическую целесообразность любого сценария использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии. Оптимальным считается сценарий с наименьшим значением потерь эффективности. Разность потерь эффективности рассматриваемых сценариев использования комбайнов определяет их сравнительную эффективность. На рисунке 1 представлена обобщенная структура модели. Входные параметры модели, исходя из источника получения информации, разбиты на три группы.

Первая группа формируется на основании данных сельхозпредприятия. Она содержит информацию об условиях уборки зерновых культур, наличии и наработке зерноуборочных

комбайнов, сложившихся затратах на топливно-смазочные материалы, техническое обслуживание и ремонт, зарплату и др.

Вторая группа характеризует потребительские свойства зерноуборочных комбайнов. Источником получения для этих показателей служит техническая характеристика зерноуборочного комбайна, представляемая компанией-изготовителем. В состав этой группы входят: мощность двигателя, площадь подбарабанья, соломотряса, очистки, скорость выгрузки зерна, удельный расход топлива двигателем и др.

Третья группа содержит информацию об изменении потребительских свойств комбайнов в течение использования у потребителя. Источником этой информации является результаты мониторинга работы зерноуборочных комбайнов. Модель предполагает использование зависимостей изменения надежности и качества выполнения уборочных работ зерноуборочным комбайном от суммарной наработки.

Разработанная модель состоит из двух блоков. Первый блок предназначен для определения эксплуатационных показателей работы зерноуборочных комбайнов, имеющихся в сельхозпредприятии. В результате оцениваются фактические показатели зерноуборочных комбайнов: производительность [8], коэффициент готовности, составляющие элементы эксплуатационных затрат. Результаты расчетов первого блока позволяют наиболее полно учитывать конкретные условия сельхозпредприятия.

Второй блок предназначен для моделирования разнообразных сценариев использования комбайнов. Эти сценарии формируются пользователем и могут отличаться по количеству, маркам применяемых комбайнов и условиям проведения уборки зерновых культур. Блок предусматривает определение основного показателя – потери эффективности. При этом моделируются дополнительные показатели по каждому комбайну [9]: производительность по основному времени; производительность по вспомогательному времени; производительность по сменному времени; коэффициент готовности по общему времени; производительность по эксплуатационному времени; наработка в часах основного времени, в тоннах и гектарах; затраты на топливо, ТО и ремонт, оплату труда, амортизацию; эксплуатационные затраты; потери зерна за комбайном и дроблением. На основе этого определяются: суммарная производительность комбайнов; продолжительность уборочных работ; потери зерна из-за превышения агросрока; суммарные эксплуатационные затраты; потери технологического эффекта.

Проверка работоспособности модели выполнялась на базе колхоза-племенного завода им.Ленина Тамбовского района Тамбовской области. Для этого была собрана исходная информация по уборке зерновых культур в 2015 году. Средние показатели составили: площадь зерновых культур – 2260 га, средняя урожайность – 33,8 ц/га, соломистость – 1,4; полеглость – 5%; засоренность – 6%; влажность сломы – 16%; длина гона 1100 м. Данные об имеющихся зерноуборочных комбайнах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Наличие зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии

Заводской номер	Марка комбайна	Фамилия и инициалы комбайнера	Ширина захвата жатки, м	Сезон эксплуатации
79255	Дон 1500Б	Воробьев Н.Н.	6	14
80909	Дон 1500Б	Барсуков С.А.	6	14
89022	Дон 1500Б	Черемисин А.В.	6	11
86491	Дон 1500Б	Калашников А.А.	6	11
97327	Дон 1500Б	Соболев И.В.	6	8

365	ACROS 530	Попов Ю.В.	6	8
2130	ACROS 530	Вязовов А.А.	6	6
7789	ACROS 530	Панкратов Ю.А.	7	4
13003	КЗС-1218 Палессе GS12	Михалев В.С.	7	3

Учитывая, что ресурс зерноуборочных комбайнов Дон-1500 14 сезона эксплуатации практически исчерпан, с точки зрения сельхозпроизводителя представляют интерес следующие сценарии использования зерноуборочных комбайнов:

1. Исключение из эксплуатации 2-ух зерноуборочных комбайнов Дон-1500.
2. Исключение 2-ух зерноуборочных комбайнов Дон-1500, приобретение и использование 1-ого комбайна Acros 585.
3. Исключение 2-ух зерноуборочных комбайнов Дон-1500, приобретение и использование 2-ух комбайнов Acros 585.
4. Исключение 2-ух зерноуборочных комбайнов Дон-1500, приобретение и использование 1-ого комбайна Палессе GS12.
5. Исключение 2-ух зерноуборочных комбайнов Дон-1500, приобретение и использование 2-ух комбайнов Палессе GS12.

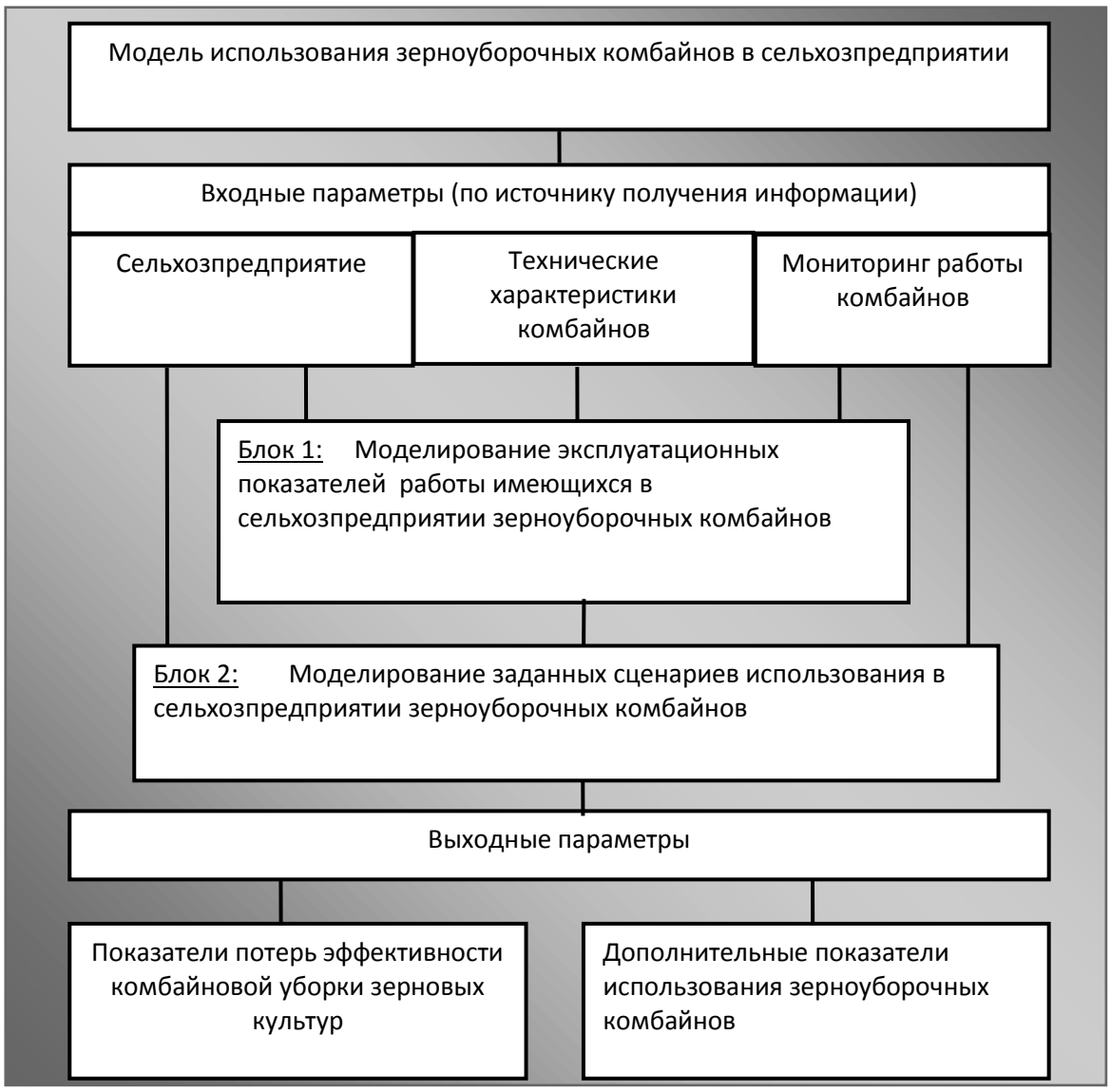


Рисунок 1 - Общая структура модели использования зерноуборочных комбайнов

Выбор в качестве сравнения комбайнов Acros 585 и Палессе GS12 объясняется ценой комбайнов, наличием развитой службы технического сервиса в регионе и опытом эксплуатации в хозяйстве комбайнов производства компаний «Ростсельмаш» и «Гомсельмаш».

Комбайн Acros 585 отличается от имеющихся в хозяйстве комбайнов Acros 530 более мощным новым двигателем Cummins 300 л.с., который обеспечивает до 15 % экономии топлива. Обновленная конструкция решет отличается увеличенной площадью очистки до 4,95 кв. м. Кроме того, верхнее и нижнее решето разделено для удобства обслуживания на левую и правую секции.

Палессе GS12 – высокопроизводительный комбайн с мощным двигателем 330 л.с., с молотильно-сепарирующим устройством шириной 1500 мм, в котором применено ускорение потока хлебной массы перед обмолотом. Отличительной особенностью молотилки Палессе GS12 являются большие диаметры барабана-ускорителя и молотильного барабана (600мм и 800 мм). За счет этого комбайн обеспечивает стабильный обмолот на уборке засоренных, высокосоломистых и влажных хлебов.

С помощью разработанной модели получены показатели рассматриваемых сценариев использования зерноуборочных комбайнов для сухого и влажного сезона уборки зерновых культур. Результаты моделирования иллюстрируются диаграммами на рисунке 2 и 3.

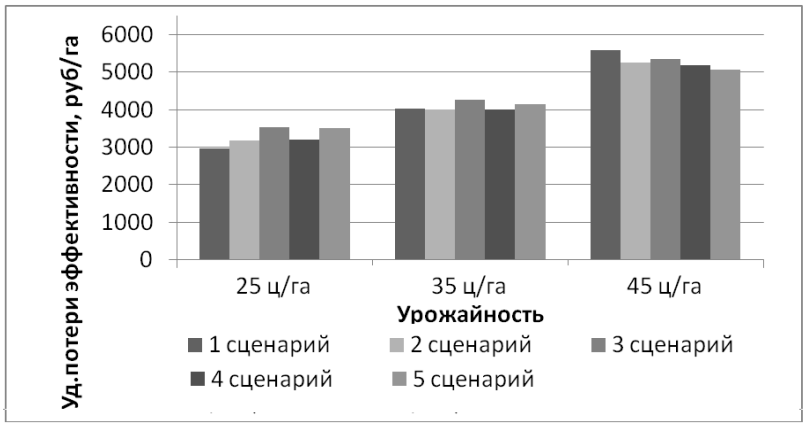


Рисунок 2 – Удельные потери эффективности при сухом сезоне уборки зерновых культур

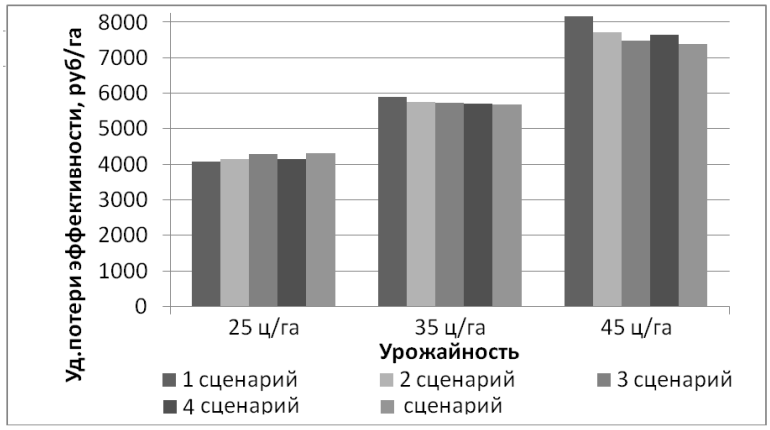


Рисунок 3 – Удельные потери эффективности при дождливом сезоне уборки зерновых культур

При благоприятных метеоусловиях (сухой сезон) и средней урожайности 25 ц/га насыщение парка новыми зерноуборочными комбайнами приводит к увеличению потерь эффективности по сравнению с сценарием 1 (рисунок 2). При добавлении 1-го комбайна Acros

585 потери эффективности увеличиваются на 213 руб/га, при добавлении 2-ух комбайнов Acros 585 – на 571 руб/га. Приобретение и использование комбайнов Палессе GS12 (сценарий 4 и 5) приводит практически к такому же результату. Однако, в случае влажного сезона, рост потерь эффективности рассматриваемых сценариев становится незначительным (рисунок 3).

При урожайности 35/га использование по одному приобретенному комбайну рассматриваемых марок (сценарии 2 и 4) и сухом сезоне уже не приводит к увеличению потерь эффективности. При неблагоприятных погодных условиях все сценарии с приобретением дополнительных комбайнов становятся экономически целесообразными (рисунок 3).

Особо выгодно приобретение и использование дополнительных комбайнов становится при урожайности 45ц/га. При сухом сезоне уборки использование 2-х комбайнов Acros 585 приводит к снижению потерь эффективности на 226 руб/га, а двух комбайнов Палессе GS12 – на 506 руб/га (рис.2). При влажном сезоне снижение потерь достигает соответственно 689 руб/га и 796 руб/га (рис.3).

Выводы. Разработанная модель позволяет оценивать разнообразные сценарии использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии. Обобщая полученные результаты по колхозу им. Ленина, можно утверждать, что обеспеченность сельхозпредприятия зерноуборочными комбайнами, в случае вероятного выхода из строя 2-х комбайнов Дон-1500Б, критическая. Даже при благоприятных условиях уборки и урожайности 35 ц/га экономически целесообразно приобретение одного комбайна Acros 585 или Палессе GS12. Ориентируясь на урожайность 45 ц/га целесообразно приобретение двух комбайнов Acros 585 или Палессе GS12.

Список литературы

1. Ерохин, Г.Н. Мониторинг показателей надежности зерноуборочного комбайна Acros 530 / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Наука в центральной России. – 2014. – № 1(7). – С.16-20.

2. Ерохин, Г.Н. Результаты оценки пропускной способности зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Наука в центральной России. – 2013. – №6. – С.45-48.

3. Ерохин, Г.Н. Оценка эксплуатационных свойств зерноуборочных комбайнов ACROS 530 и John Deer W650 / Г.Н. Ерохин, С.Н.Сазонов, В.В. Коновский // Вестник Мичуринского аграрного университета. - Мичуринск: 2014. - №1. – С.68-71

4. Ерохин, Г.Н. Оценка эффективности комбайнового обеспечения уборки зерновых культур / Г.Н. Ерохин// Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №4. – С.27-29.

5. Ерохин, Г.Н. Оценка эффективности технического сервиса зерноуборочных комбайнов /Г.Н.Ерохин, С.Н.Сазонов, В.В.Коновский// Научное обозрение. – 2015. - №8. С.14-18

6. Методика оценки потерь зерна за комбайном "Дон-1500" / В.Н Жданов, Г.Н.Ерохин, В.А. Саяпин, В.К. Полянин – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1989. – 12с.

7. Ерохин, Г.Н. Моделирование потерь зерна за зерноуборочными комбайнами /Г.Н.Ерохин, С.Н.Сазонов, В.В.Коновский // Вестник Мичуринского аграрного университета. - Мичуринск: 2014. - №2. – С.65-68.

8. Ерохин, Г.Н. Оценка уровня использования производительности зерноуборочных комбайнов /Г.Н.Ерохин, А.С.Решетов, В.В.оновский // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 7. – С.30 -3 2.

9. Ерохин, Г.Н. Эксплуатационно-технологические показатели зерноуборочных комбайнов / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №6. – С.18-20.

References

1. Erohin, G.N. Monitoring pokazatelej nadezhnosti zernouborochnogo kombajna Acros 530 / G.N. Erohin, V.V. Konovskij // Nauka v central'noj Rossii. – 2014. – № 1(7). – S.16-20.
2. Erohin, G.N. Rezul'taty ocenki propusknoj sposobnosti zernouborochnyh kombajnov v usloviyah real'noj ehkspluatacii / G.N. Erohin, V.V. Konovskij // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – №6. – S.45-48.
3. Erohin, G.N. Ocenka ehkspluatacionnyh svojstv zernouborochnyh kombajnov ACROS 530 i John Deer W650 / G.N. Erohin, S.N.Sazonov, V.V. Konovskij // Vestnik Michurinskogo agrarnogo universiteta. - Michurinsk: 2014. - №1. – S.68-71
4. Erohin, G.N. Ocenka ehffektivnosti kombajnovogo obespecheniya uborki zernovyh kul'tur / G.N. Erohin// Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2006. – №4. – S.27-29.
5. Erohin, G.N. Ocenka ehffektivnosti tekhnicheskogo servisa zernouborochnyh kombajnov /G.N.Erohin, S.N.Sazonov, V.V.Konovskij// Nauchnoe obozrenie. – 2015. - №8. S.14-18
6. Metodika ocenki poter' zerna za kombajnom "Don-1500" / V.N Zhdanov, G.N.Erohin, V.A.Sayapin, V.K. Polyanin – M.: AgroNIITEHIITO, 1989. – 12s.
7. Erohin, G.N. Modelirovanie poter' zerna za zernouborochnymi kombajnami /G.N.Erohin, S.N.Sazonov, V.V.Konovskij // Vestnik Michurinskogo agrarnogo universiteta. - Michurinsk: 2014. - №2. – S.65-68.
8. Erohin, G.N. Ocenka urovnya ispol'zovaniya proizvoditel'nosti zernouborochnyh kombajnov /G.N.Erohin, A.S.Reshetov, V.V.Konovskij // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – № 7. – S.30-32.
9. Erohin, G.N. Ehkspluatacionno-tekhnologicheskie pokazateli zernouborochnyh kombajnov / G.N.Erohin, V.V.Konovskij // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2012. – №6. –S.18-20.

УДК 636.2.034

МОЛОЧНОЕ СКОТОВОДСТВО В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кийко Елена Ильинична,
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
E-mail: alenakiiko@mail.ru
Филиппова Ольга Борисовна,
кандидат биологических наук, заведующая лабораторией технологии производства молока и говядины, E-mail: filippova1968@mail.ru
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов

Реферат. *Известно, что наращивание производства высококачественного молока является одной из целей обеспечения продовольственной безопасности страны. Анализ положения дел в молочном животноводстве Тамбовской области показал, что трудности вызваны низкой экономической гибкостью отрасли, отсутствием эффективных стимулирующих рычагов ускоренного приращения объемов производства молока и молокопродуктов, дефицитом ресурсов. Отмечено, что повышение эффективности отрасли связано с использованием прогрессивных приемов производства кормов, выращивания, кормления и содержания животных, а также совершенствованием используемых пород крупного рогатого скота. По статистическим данным. в Тамбовской области функционирует 170 молочных ферм разных форм собственности, в последние три года*

построено и ведено в эксплуатацию 5 крупных современных комплексов по производству молока на 5,5 тысяч коров. Согласно статистическим данным по состоянию на 1 января 2017 года в сельхозпредприятиях и крестьянских фермерских хозяйствах имеется около 17221 молочных коров, в племенных предприятиях области содержится 3,92 тысячи молочных коров. Установлено, что по технологическим свойствам молоко коров симментальской и бурой швицкой пород с высоким содержанием жира и белка, подходит для производства твердых сортов сыра; коров голштинской и черно-пестрой пород - для производства питьевого молока и кисломолочных продуктов. Даны практические предложения для дальнейшего развития молочного скотоводства в Тамбовской области: 1 - продолжать работу по увеличению количества племенных хозяйств, занимающихся разведением молочного скота; 2 - ускорить создание информационного селекционно-генетического центра для координации работы в регионе по данному направлению; 3 - решить имеющиеся проблемы со сбытом произведенного в хозяйствах молока.

***Ключевые слова**: крупный рогатый скот, молочное скотоводство, породы молочного скота, молоко.*

DAIRY CATTLE BREEDING IN THE TAMBOV REGION

Kiyko Elena,
Candidate of Biology, Senior Scientific Worker, E-mail: alenakiiko@mail.ru,
Filippova Olga,
Candidate of Biology, Head of the Laboratory of Technology of Production of Milk and Beef,
E-mail: filippova1968@mail.ru
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov

***Abstract.** It is known that increasing the production of high-quality milk is one of the goals of ensuring the country's food security. An analysis of the situation in dairy farming in the Tambov region has shown that difficulties are caused with low economic flexibility of the industry, a lack of effective stimulating levers for accelerated increment in the production of milk and dairy products, and a lack of resources. It is noted that the increase in the efficiency of the industry is associated with the use of progressive methods for the production of feed, growing, feeding and keeping animals, as well as improving the breeds of cattle used. According to statistical data, in the Tambov region there are 170 dairy farms of different forms of ownership, in the last three years five large modern milk production complexes for 5,500 cows have been built and put into operation. According to statistics, as of January 1, 2017, there are about 17,221 dairy cows in agricultural enterprises and peasant farms, 3,900 dairy cows in the oblast's breeding enterprises. It is established that according to the technological properties milk of Simmental and brown Schwitz cows with a high content of fat and protein is suitable for the production of hard sorts of cheese; Cows Holstein and black and motley breeds - for the production of drinking milk and fermented milk products. Practical suggestions for further development of dairy cattle breeding in Tambov region are given: 1 - to continue work on increasing the number of breeding farms engaged in breeding dairy cattle; 2 - to accelerate the creation of an information breeding and genetic center for coordination of work in the region in this area; 3 - solve the existing problems with the sale of milk produced in the farms.*

***Keywords:** cattle, dairy cattle, breed of dairy cattle, milk.*

Введение. В настоящее время приоритетным направлением развития Тамбовской области признано развитие агропромышленного комплекса. Наибольшее внимание в последние годы уделяется животноводству, в том числе, молочному скотоводству [1]. Наращивание производства высококачественного молока является одной из целей обеспечения продовольственной безопасности страны. Важным фактором в повышении эффективности молочного животноводства области наряду с использованием прогрессивных приемовпроизводства и приготовления кормов, внедрением современных технологических методов выращивания, кормления и содержания животных, является качественное совершенствование используемых пород крупного рогатого скота. Так как на сегодняшний день Тамбовская область не может в полной мере обеспечить себя молоком, то возникла необходимость в стабилизации объемов производства молока за счет увеличения продуктивности животных в сельхозпредприятиях и крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ). Высокая продуктивность отдельных пород скота связана с уровнем животноводческой культуры и является следствием постоянного улучшения их человеком. Основой совершенствования каждого вида животных является последовательная работа в области племенного животноводства, обеспечивающая высокие доходы для животноводов. Эффективное использование племенных ресурсов требует улучшения организации селекционной работы с ведущими породами молочного скота через активизацию племенной работы и пополнение генетического фонда крупного рогатого скота [2].

Результаты исследований состояния отрасли в регионе. Тамбовская область располагает большими возможностями и необходимым экономическим потенциалом для проведения мероприятий по повышению эффективности молочного животноводства и совершенствованию продуктивных и технологических качеств используемого скота, хотя и испытывает определенные трудности. В их числе можно назвать низкую экономическую гибкость отрасли, отсутствие эффективных стимулирующих рычагов ускоренного приращения объемов производства молока и молокопродуктов, дефицит ресурсов. На преодоление сложившейся ситуации и недопущение ее в перспективе способствуют меры, принимаемые производителями по модернизации производства, реализация инвестиционных проектов, меры государственной поддержки на федеральном и региональном уровне. Эффективность отрасли во многом зависит от финансовой поддержки со стороны государства[1]. В настоящее время этой отраслью производства в области занимаются 40 сельхозпредприятий и 130фермерских хозяйств.

В последние несколько лет улучшение эффективности молочного скотоводства было решено сделать приоритетным направлением в стратегии развития региона для повышения уровня самообеспечения Тамбовской области молоком. В рамках решения этой проблемы проходила реализация ведомственной целевой программы «Региональная экономически-значимая программа развития молочного скотоводства в Тамбовской области» на 2014-2016 годы. Но не смотря на принимаемые меры, обстановка в этой области сельскохозяйственного производства далека от оптимальных условий.

Согласно статистическим данным по состоянию на 1 января 2017 года в сельхозпредприятиях и КФХ имеется около 17221 молочных коров. При этом среднесуточный надой на корову в зависимости от района составляет от 10,51 до 20,97 кг. Это довольно низкий показатель, однако следует учитывать, что среди порядка 170-ти молочных ферм, функционирующих в Тамбовской области, относительно небольшая доля принадлежит хозяйствам, имеющих высокопродуктивное поголовье скота. На таких фермах средний надой

на корову составляет от 5600 до 8175 кг. Как правило, это хозяйства с племенным статусом, в которых ведется целенаправленная селекция животных.Всего на племенных предприятиях области содержится 3,92 тысячи молочных коров, что составляет 22,8% от имеющегося в наличии маточного поголовья (таблица 1).

Для потребностей области этого совершенно недостаточно, тем более, что выход телят по области за 2016 год составил 65 голов на 100 коров. Это создает проблемы с воспроизводством уже имеющегося поголовья и работой по повышению продуктивных качествмолочного скота.

Для улучшения создавшейся ситуации за последние три года в области были введены в эксплуатацию 5 крупных современных комплексов по производству молока, рассчитанных на 5,5 тыс. коров. В крупных сельхозпредприятиях и крестьянских (фермерских) хозяйствах наметилась тенденция по увеличению производства молока [3]. Администрация также ведет переговоры по привлечению инвесторов в молочную отрасль. Но дальнейшее развитие отрасли невозможно без развития племенной базы.В настоящее время в области есть 2 племенных завода и 6 племенных репродукторов по четырем породам крупного рогатого скота: черно-пестрой, голштинской, симментальской и бурой швицкой. Эти породы относятся к разным генеалогическим корням по своему происхождению. И если черно-пестрая и голштинская являются специализированными породами молочного направления продуктивности, то симментальская и бурая швицкая относятся к породам комбинированного типа, то есть в зависимости от потребностей их можно использовать как в молочном, так и в мясном скотоводстве[2].

Таблица 1 – Сведения о поголовье молочного скота на 1 января 2017 г.

Показатели	Наличие скота		
	Всего голов	В том числе племенного	Удельный вес племенного скота, %
Крупный рогатый скот всего:	50300	10258	20,4
в том числе: коровы	17221	3921	22,8
быки-производители	93	0	0

В современных условиях разведения молочного скота большое значение имеет не только высокая продуктивность, но икачественные показатели молока, которые могут варьировать в зависимости от породы животного и условий кормления и содержания.Для контроля качества молока в племенных хозяйствах области регулярно проводится отбор индивидуальных проб на селекционные показатели, которые включают в себя такие параметры,как процентное содержание жира, белка и количество соматических клеток. Содержание жира и белка в молоке племенных хозяйств области демонстрируется на рисунке.

В хозяйствах, представленных на рисунке, разводят животных трех пород: голштинской, черно-пестрой и симментальской. Разведением симментальской породы занимается АО "Комсомолец" Мичуринского района. Для молока коровэтой породы характерно достаточно высокое содержание жира и белка одновременно, что очень подходит для сыроделия.

Черно-пеструю породу молочного скота разводят в четырех племенных хозяйствах области: АО "Голицыно" Никифоровского района, колхоз им.Ленина, агрокомплекс (АК) "Тамбовский", племенной завод(ПЗ) "Пригородный" Тамбовского района. Для этой породы характерен достаточно широкий вариационный диапазон качественных показателей молока, поэтому оно может использоваться как питьевое, так и для производства сыра.

Наиболее обильно молочной из всех пород считается голштинская, успешно разводимая в ООО "МОЛОЧНАЯ ФЕРМА"ЖУПИКОВ" Сосновского района. При этом для молока коров этой породы характерны не самые высокие показатели жира и белка. По технологическим свойствам оно предназначено, главным образом, для производства пастеризованного питьевого молока и кисломолочных продуктов.

Бурая швицкая порода разводится в АК "Тамбовский" Тамбовского района. Молоко этих коров характеризуется высоким содержанием жира и белка и предназначено для производства твердых сортов сыра.

Количество соматических клеток в молоке также, как содержание жира и белка, является важным селекционным параметром контроля качества. Проведение регулярного мониторинга этого показателя у коров, разводимых в племенных хозяйствах Тамбовской области, позволяет судить о здоровье вымени животных и уровне заболеваемости маститом.Экономический ущерб от мастита и его последствий достаточно высок из-за снижения количества получаемого молока и потерь в выходе продуктивных показателей[4].

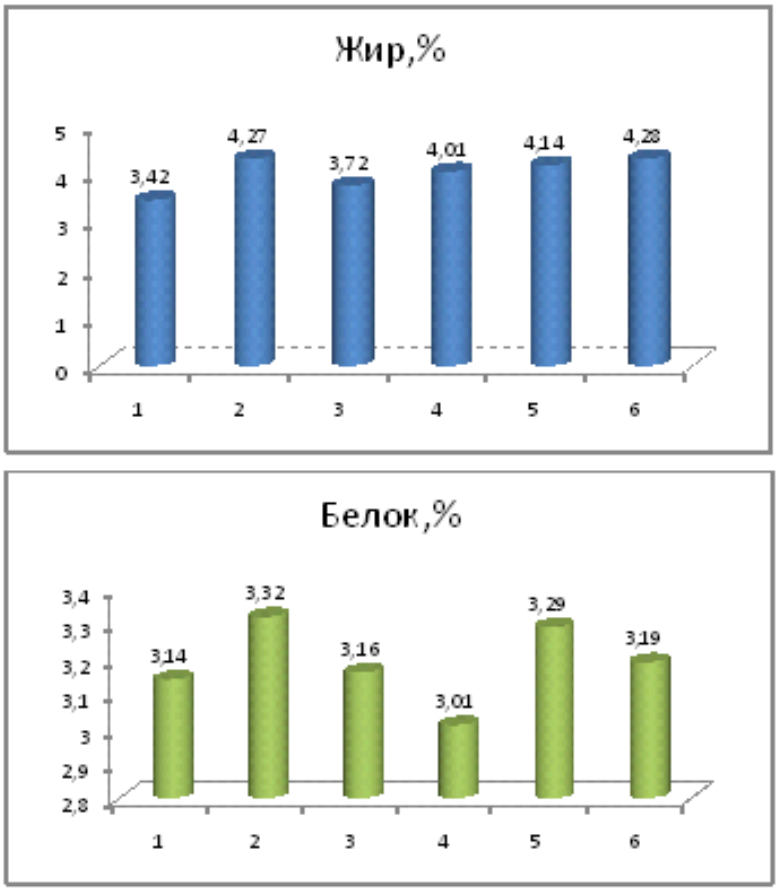


Рисунок – Содержание массовой доли жира и белка в молоке коров
1- ООО "МОЛОЧНАЯ ФЕРМА"ЖУПИКОВ"; 2- АО "Комсомолец";
3- АО "Голицыно"; 4- Колхоз им.Ленина; 5- ПЗ "Пригородный"; 6- АК "Тамбовский".

Практические предложения. Важным условием для дальнейшего развития молочного скотоводства в Тамбовской области является увеличение государственной поддержки отрасли. На территории Тамбовской области необходимо продолжать работу по увеличению количества племенных хозяйств, занимающихся разведением молочного скота. Также необходимо ускорить создание информационного селекционно-генетического центра для

координации работы в регионе по данному направлению. Для более эффективного развития молочного скотоводства также необходимо решить имеющиеся проблемы со сбытом произведенного в хозяйствах молока.

Список литературы

1. Тамбовская область. Сельскоехозяйство. – URL: http://tambov.investments/farming/

2. Кийко Е.И., Филиппова О.Б. Современное состояние племенной базы молочного скотоводства в Тамбовской области //Наука в Центральной России. –2016. – №5. – С.19-24.

3. Воропаев С.Н. Молочное скотоводство – приоритетное направление // Сельский консультант. –2017. – №1. – С.19-20.

4. Кийко Е.И., Филиппова О.Б. Изменение качественных показателей молока при различных формах заболеваний коров маститом // Главный зоотехник. – 2013.– №9. –С.40-43.

References

1. Tambovskaja oblast'. Sel'skoehozjajstvo. – URL: http://tambov.investments /farming/

2. Kijko E.I., Filippova O.B. Sovremennoesostojanieplemennojbazymolochnogoskotovodstva v Tambovskojoblasti // Nauka v Central'nojRossii. – 2016. – № 5. – S.19-24.

3. Voropaev S.N. Molochnoeskotovodstvo – prioritetnoenapravlenie // Sel'skijkonsul'tant. – 2017. – № 1. – S.19-20.

4. Kijko E.I., Filippova O.B. Izmeneniekachestvennyhpokazatelejmolokaprirazlichnyhformahzabolevanijkorovmastitom // Glavnyjzootehnik. – 2013. – №9. – C.40-43.

УДК 662.754, 665.11

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ БИОМАССЫ

Нагорнов Станислав Александрович,
доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе,
E-mail: snagornov@yandex.ru
Корнев Алексей Юрьевич,
кандидат технических наук, заведующий **лабораторией**,
E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Мещерякова Юлия Владимировна
младший научный сотрудник, E-mail: yulya-belova@yandex.ru
Мещеряков Александр Геннадьевич
аспирант, E-mail: alex_mec@bk.ru
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов.
Романцова Светлана Валерьевна
кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина. Тамбов. E-mail: svromantsova@yandex.ru
Алибаев Батырбек Тулегенович
преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» (ЗКАТУ им. Жангир хана), г.Уральск, Казахстан. E-mail: batyrbek1983@mail.ru

Реферат. *ФГБНУ ВНИИТиН более 10 лет ведет исследования по поиску новых источников биомассы, разработке перспективных технологий ее переработки, созданию инновационных видов продуктов на основе возобновляемого сырья. Разработаны инновационная технология получения биотоплива из растительных масел и оборудование для ее осуществления. Их главная особенность - использование вихревого эффекта, что приводит к интенсификации и ускорению химической реакции в 5 раз и позволяет использовать растительное масло с содержанием жирных кислот до 2,5 %, метиловый спирт с содержанием воды до 0,8 %, снизить в 2 раза концентрацию катализатора и температуру реакционной смеси. Установлено, что высокое содержание в масле свободных жирных кислот, фосфолипидов и восков осложняет синтез, снижает качество конечного продукта. Показано, что использование отдельных стадий рафинации растительных масел, гидратации с раствором лимонной кислоты и нейтрализации водным раствором гидроксида калия, при подготовке сырья, позволяет снизить содержание нежелательных компонентов, повышает качество и выход конечного продукта. Развивается направление по синтезу дополнительных компонентов для традиционных нефтяных топлив. Получены соединения, улучшающие противоизносные свойства дизельного топлива на 15 – 25 % и на 39 – 49 % соответственно в зависимости от условий. Разработаны усовершенствованная технология культивирования микроводорослей Chlorella vulgaris ИФР № С-111 и метод извлечения липидов для последующего использования в качестве сырья для синтеза биотоплива и биодобавок. Значительное снижение выбросов твёрдых частиц (дыма), моноксида углерода, углеводородов (в том числе канцерогенных) и углекислого газа выявлено, при использовании биотоплива как самостоятельного топлива, так и в качестве добавки к дизельному топливу, по сравнению с использованием чистого нефтяного топлива.*

Ключевые слова: *биотопливо, дизельное топливо, микроводоросли, присадки, технология, противоизносные свойства, экологические показатели.*

IMPROVEMENT THE QUALITY OF DIESEL FUELS IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF DIESEL FUELS THROUGH THE USE OF COMPONENTS BASED ON RENEWABLE BIOMASS

Nagornov Stanislav,
Full Doctor of Technical sciences, Professor, deputy director for scientific work,
E-mail: snagornov@yandex.ru
Kornev Alexey,
Ph.D. of Technical sciences, leading researcher, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Meshcheryakova Julia,
junior researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation. E-mail: yulya-belova@yandex.ru
Mescheryakov Alexander,
postgraduate student, E-mail: alex_mec@bk.ru
FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture», Tambov
Romantsova Svetlana Valeryevna
Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, FSBEI HE Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov. E-mail: svromantsova@yandex.ru

Alibaev Batyrbek Tulegenovich
lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University (Zhangir Khan WKATU), Uralsk, Kazakhstan. E-mail: batyrbek1983@mail.ru

Abstract. *FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture» has been conducting research for more than 10 years to find new sources of biomass, to develop promising technologies for its processing, to create innovative types of products based on renewable raw materials. Innovative technology for biofuel production from vegetable oils and equipment for its implementation are developed. Their main feature is the use of the vortex effect, which leads to an intensification and acceleration of the chemical reaction by a factor of 5 and allows the use of vegetable oil with a fatty acid content of up to 2.5%, methyl alcohol with a water content of up to 0.8%, a 2-fold decrease in the concentration catalyst and the temperature of the reaction mixture. It is shown that the use of individual stages of vegetable oil refining, hydration with a solution of citric acid and neutralization with an aqueous solution of potassium hydroxide, while preparing raw materials, allows to reduce the content of undesirable components, improves the quality and yield of the final product. Direction on the synthesis of additional components for traditional petroleum fuels is developed. Compounds that improve the anti-wear properties of diesel fuel by 15 - 25% and 39 - 49%, respectively, depending on the conditions are obtained. Improved technology of cultivation of Chlorella vulgaris microalgae IGF No. C-111 and a method for extracting lipids for subsequent use as a raw material for the synthesis of biofuels and bioadditives developed. Significant reductions in emissions of solid particles (smoke), carbon monoxide, hydrocarbons (including carcinogenic) and carbon dioxide have been identified when biofuel is used as a stand-alone fuel and as an additive to diesel fuel, as compared to using pure petroleum fuel.*

Keywords*: biofuels, diesel fuel, microalgae, additives, technology, antiwear properties, environmental performance*

Введение. Несмотря на определенные успехи в отечественной нефтеперерабатывающей промышленности проблема некачественного топлива в сельском хозяйстве остается достаточно актуальной [1 – 5]. В современных реалиях, несмотря на падение стоимости нефти, топливо, отвечающее нормативным документам и эксплуатационным требованиям современных двигателей, может быть получено только при использовании процессов глубокой переработки нефти с обязательным добавлением присадок. Отечественные компании производят присадки внутри страны, но объем их импорта год от года увеличивается.

Вместе с тем происходит постепенное проникновение биоэнергетики во многие сферы хозяйства. Она становится все более востребованной и стала входить в число основных приоритетов инновационного развития экономики России. Главной целью развития биоэнергетики в России является формирование нового рыночного сегмента востребованных биопродуктов с высокой добавочной стоимостью, производимых на основе передовых технологий переработки биомассы. [6 – 8].

В этой связи достаточно актуальными являются направления исследований по поиску новых источников биомассы, разработке перспективных и совершенствованию имеющихся технологий по ее переработке, созданию инновационных видов продуктов на основе возобновляемого сырья, в том числе добавок к традиционному топливу. ФГБНУ ВНИИТиН уже более 10 лет ведет исследования в каждом из этих направлений.

Методы исследований. Для получения соединений на основе возобновляемого сырья использовали методы тонкого органического синтеза. Строение синтезированных соединений и пути протекания реакций подтверждали методами аналитической химии, ИК-спектроскопии и газо-жидкостной хроматографии. Физико-химические свойства растительных масел, био- и смесевых топлив определяли в соответствии с требованиями ГОСТ на каждый тип соединений. Полученные в результате синтеза соединения добавляли к гидроочищенному дизельному топливу в различных концентрациях: биотоплива в диапазоне 5 – 40 %, присадки – 0,5 – 1 %. Культивирование микроводорослей проводили в трубчатом фотобиореакторе с циркулирующей питательной средой. Извлечение липидов из биомассы микроводорослей осуществляли экстракцией. Экологические и эксплуатационные показатели двигателей измеряли в соответствии с методами ГОСТ, дымомерами КИД-2 и Инфракар Д, газоанализаторами Автотест и Инфракар М.

Результаты исследований. В ФГБНУ ВНИИТиН на основе многолетних исследований была разработана инновационная технология получения биотоплива из растительных масел.

Как известно, основными веществами, входящими в состав растительных масел являются триацилглицерины – сложные эфиры глицерина и высших жирных кислот из которых с помощью реакций переэтерификации получают сложные эфиры – биотопливо [9, 10]. К настоящему времени наибольшую распространенность в мире получила простая циклическая технология производства метиловых эфиров жирных кислот с использованием гомогенного катализатора. Ее главным недостатком можно считать большую продолжительность реакции переэтерификации в следствие использования обычного механического перемешивания реакционной смеси, а также большую массу и габариты установки, невозможность проведения непрерывного процесса. Некоторые недостатки можно устранить применением многореакторной технологии, которая в свою очередь отличается сложностью проведения технологического процесса и большей себестоимостью получаемого топлива.

Разработанная в ФГБНУ ВНИИТиН установка для получения биотоплива из растительных масел по инновационной технологии показана на рисунке 1. Главной особенностью технологии стало использование для ускорения реакции переэтерификации вихревого эффекта.

Рисунок 1. - Установка для получения биотоплива из растительных масел

Разработанный способ метанолиза предполагает воздействие закрученного потока на систему «триацилглицерины – метанол», что приводит к интенсификации перемешивания исходных соединений и ускорению химической реакции [11 – 13].

В результате оптимизации условий протекания процесса установлено, что использование вихревого реактора на основе эффекта Ранка–Хилша позволяет использовать растительное

масло с содержанием жирных кислот до 2,5 %, метиловый спирт с содержанием воды до 0,8 %, снизить в 2 раза концентрацию катализатора и температуру реакционной смеси.

Разработанная технология позволяет сократить время реакции в 5 раз по сравнению с традиционными схемами получения биодизельного топлива, а также использовать в качестве сырья соединения разной степени очистки, что позволяет создать на ее основе производство по получению метиловых эфиров растительных масел разной мощности в зависимости от потребностей заказчика [14, 15].

Вместе с тем установлено, что высокое содержание в масле свободных жирных кислот, фосфолипидов и восков осложняет синтез, снижает качество и товарный вид конечного продукта, ухудшает его физико-химические свойства. Поэтому при использовании такого сырья для синтеза желательна его предварительная очистка. Для полной очистки (рафинации) растительного масла необходимо последовательное проведение таких операций как гидратация, нейтрализация, отбеливание, вымораживание, дезодорация. При подготовке масла для синтеза биотоплива проведение полного комплекса рафинации не всегда целесообразно.

Сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН проведен цикл исследований по получению биотоплива из некондиционного масла семян рыжика, которое имело повышенное содержание свободных кислот, белков и фосфолипидов, что сказывалось на протекании процесса синтеза, выходе и свойствах получаемых эфиров [16 – 18].

Установлено, что из всего комплекса рафинации перед синтезом достаточно использовать только стадии гидратации и нейтрализации такого масла. Стадия гидратации масла позволяет извлечь из него гидрофильные вещества. Белки, фосфолипиды и т.д. лучше растворимы в воде, чем в смеси триацилглицеринов, поэтому при смешивании масла с водой, они переходят в водную фазу, которую затем можно отделить сепарированием. Процесс нейтрализации используется для удаления свободных жирных кислот. Эту стадию очистки желательно проводить для масел с высоким кислотным числом. При взаимодействии свободных карбоновых кислот с метанолом (реакция этерификации) могут образовываться метиловые эфиры жирных кислот, но эта реакция катализируется сильными минеральными кислотами (обычно серной кислотой). Условия реакции переэтерификации (присутствие щёлочи) неблагоприятно для этерификации. Поэтому часть свободных кислот остаётся в составе добавки, что приводит к увеличению ее кислотности, а значит и к ухудшению эксплуатационных характеристик конечного топлива. В ходе нейтрализации масло взаимодействует с водным раствором щёлочи, свободные жирные кислоты превращаются в соли (мыла) и переходят в водную фазу, образующийся соапсток отделяют отстаиванием и декантацией или сепарацией**.** Соапсток может частично адсорбировать на своей поверхности белки, пигменты и другие примеси**.**

Гидратацию проводили при 60 °С в течение 30 минут. Было установлено, что добавление 10 % (об.) раствора лимонной кислоты увеличивает степень коагуляции фосфолипидов, их агрегативная устойчивость снижается, и степень очистки масла увеличивается. Первоначально образующиеся хлопья фосфолипидов и других примесей при переходе в водную фазу растворяются, отстаивание происходит полностью, время отстаивания составляет около 3 часов. Цвет масла в процессе гидратации визуально практически не меняется, оптическая плотность немного увеличивается.

Нейтрализацию проводили при 70 °С в течение 30 минут водным раствором гидроксида калия. Применение 25 % раствора гидроксида калия (в количестве 5 % от объёма масла) даёт

полное расслоение водной и липидной фаз, очищенное масло осветляется, оптическая плотность снижается в 2 раза.

После проведения очистки с последовательным применением методов гидратации и нейтрализации в масле на 43 % снизилось содержание свободных жирных кислот, цвет масла изменился на 1 − 2 ед. ЦНТ за счет частичной адсорбции красящих веществ на поверхности соапстока, образующегося при действии раствора щёлочи.

Синтез биотоплива по разработанной технологии с использованием в качестве сырья как очищенного, так и неочищенного масла рыжика показал, что сложные эфиры, полученные из масла семян рыжика, после очистки имеют лучший товарный вид и физико-химические свойства по сравнению с биотопливом из неочищенного мала. Выход продукта при этом увеличился на 9 %.

Использование отдельных стадий рафинации растительных масел при подготовке сырья позволяет удалить часть нежелательных при синтезе соединений, получить продукт, удовлетворяющий требованиям по кислотному числу, имеющий лучший товарный вид, расширяет требования к качеству исходного сырья, облегчает проведение стадии промывки эфира-сырца, повышает качество конечного продукта.

Помимо получения биотоплива из растительной биомассы в ФГБНУ ВНИИТиН развивается направление по синтезу дополнительных компонентов для традиционных нефтяных топлив. Сущность такого похода состоит в том, что из одного и того же сырья можно получать различные по назначению продукты. Например, методом амидирования были получены соединения, улучшающие противоизносные свойства дизельного топлива. Они представляют собой продукты взаимодействия моноэтаноламина и триэтаноламина с рыжиковым маслом – моноэтаноламиды высших алифатических кислот, диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина.

Установлено, что наиболее выраженным эффектом улучшения смазывающей способности дизельного топлива обладают продукты взаимодействия рыжикового масла с триэтаноламином, которые улучшают смазывающие свойства на 15 – 25 % и на 39 – 49 % соответственно в зависимости от условий испытаний.

Также наблюдалось небольшое улучшение низкотемпературных свойств, что может быть связано с большей молекулярной массой и более разветвлённой структурой полученных соединений. Максимальная депрессия температуры замерзания дизельного топлива составила 5 ºС при внесении 1 % полученной добавки, что помимо улучшения смазывающих свойств топлива является полезным дополнительным эффектом [19, 20].

Помимо масел, получаемых из биомассы пищевых и непищевых растений, существенный интерес представляют исследования по использованию в качестве источника биомассы микроводорослей. В этом направлении сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН были проведены достаточно обширные изыскания, результатом которых стало совершенствование технологии культивирования микроводорослей Chlorella vulgaris ИФР № С-111 и разработка метода извлечения из них липидов для последующего использования в качестве сырья для синтеза биотоплива и биодобавок. Экспериментального закрытый циркулирующий фотобиореактор для культивирования микроводорослей представлен на рисунке 2.

Были подобраны оптимальные условия культивирования [21, 22]: питательная среда Тамийя, температура поддерживается на уровне 34-36 °С, освещенность $10 \cdot 10^3$лк, осуществляется подача углекислого газа (4-7%) и перемешивание суспензии, pH

поддерживался на уровне 7 – 8. Посевной материал для фотобиореактора составлял 25 % от общего объема. Фотопериод составлял 12 часов свет, 12 часов темнота.

Необходимую концентрацию углекислого газа в газовоздушной смеси устанавливали с помощью регулирования давления на выходе из баллона и компрессора. С целью увеличения содержания в клетках липидов (триацилглицеридов) создаются специальные стрессовые условия: снижение концентрации азотных компонентов, увеличение интенсивности освещения.

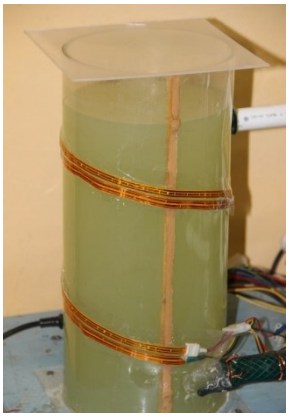


Рисунок 2. Общий вид экспериментального закрытого циркулирующего фотобиореактора для культивирования микроводорослей

Готовую биомассу микроводоросли Clorella vulgaris ИФР С-111, после фотобиореактора подвергают физическому воздействию в аппарате вихревого слоя, создающем вращающееся электромагнитное поле с хаотически движущимися ферромагнитными частицами, воздействующими на сырье, в результате чего происходит разрушение клеточных оболочек. Степень дробления клеточных оболочек достигает 99,8%. Далее биомасса с раздробленными клеточными оболочками подвергается многократной экстракции органическим растворителем в аппаратах с закрученным потоком инертных тел. Использование трехступенчатой схемы экстракции позволяет проводить непрерывный процесс с временем пребывания в экстракционных аппаратах биомассы не более 2 минут и позволяет довести степень извлечения до 98% [23, 24].

При использовании биотоплива как самостоятельного топлива, так и в качестве добавки к дизельному топливу, установлено значительное снижение выбросов твёрдых частиц (дыма), моноксида углерода, углеводородов (в том числе канцерогенных) и углекислого газа, чем при использовании чистого нефтяного топлива [25]. Пример результатов испытаний дизельного топлива с добавлением биотоплива по экологическим показателям на тракторе ЮМЗ Л6 с двигателем марки Д – 65Н представлен в таблице 1.

Таблица 1. Экологические показатели двигателя Д-65Н

Показатель	Виды топлива				
	Дизельное топливо	Дизельное топливо и 5% биотоплива	Дизельное топливо и 10% биотоплива	Дизельное топливо и 20% биотоплива	Дизельное топливо и 40% биотоплива
Дымность, *N*, % $k^{м-1}$	56 1,90	53 1,75	53 1,80	50 1,64	47 1,50
C_xO_y, %	0,60	0,50	0,49	0,48	0,45
C_xH_y, %	0,0017	0,0015	0,0015	0,0014	0,0012

По мере увеличения количества биотоплива в смеси экологические показатели работы двигателя (дымность, содержание углеводородов, оксидов углерода) улучшаются, при этом тягово-скоростные и топливно-экономические показатели практически не изменяются.

Список литературы

1. Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве. // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 15-26.

2. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Связь качества моторного топлива с современным состоянием нефтескладов. // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 26-35.

3. Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Зазуля А.Н., Корнев А.Ю., Манаенков К.А., Завражнов А.И., Хатунцев В.В., Михеев Н.В., Мишин М.М., Астапов С.Ю., Кузнецов П.Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости Учебное пособие для ВУЗов / Мичуринск, 2017.

4. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ерохин И.В. К вопросу качества нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 178-181.

5. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Проблемы эффективного использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной технике // Наука в центральной России. 2015. № 1 (13). С. 66-71.

6. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Жалнин Э.В. Потенциал биоэнергетики в России // Вестник Орел ГАУ. № 6. 2007. С. 34 – 37.

7. Сорокин Н.Т. О законодательном обеспечении основ биоэнергетики // Достижения науки и техники АПК. № 6. 2007. С. 1 – 6.

8. Стратегический план исследований. Технологическая платформа «Биоэнергетика». Москва, 2012. 44 с.

9. Митусова Т.Н., Калинина М.В., Данилов А.М. Биодизельные топлива // Нефтехимия и нефтепереработка. 2004. № 2. С. 16.

10. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Голубев И.Г. Сравнительный анализ технологий получения биотоплива для дизельных двигателей: научное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2013. 96 с.

11. Романцова С.В., Павлов С.С., Ерохин И.В., Ликсутина А.П. Способы интенсификации процесса переэтерификации растительных масел // В сборнике: Актуальные проблемы естественных наук материалы Международной заочной научно-практической конференции. отв. ред. В.Б. Макисменко. Тамбов. 2014. С. 36-41.

12. Романцова С.В., Павлов С.С., Ларина М.В., Ерохин И.В., Мещерякова Ю.В. Исследование структуры потоков в вихревой трубе // В сборнике: Актуальные проблемы естественных наук материалы Международной заочной научно-практической конференции. отв. ред. В.Б. Максименко. Тамбов. 2013. С. 109-114.

13. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А., Бодягина С.В. Интенсификация синтеза биодизельного топлива вращающимся электромагнитным полем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 5. С. 8-10.

14. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Корнев А.Ю. Выбор реактора для синтеза биодизельного топлива // Наука в центральной России, 2015. № 2(14). С. 81-92.

15. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В., Ерохин И.В. Инновационная технология получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. 2015. № 7. С. 36-37.

16. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В., Ликсутина А.П. Процесс получения биодобавки к дизельному топливу из некондиционного масла с повышенным кислотным числом. // В сборнике: В. И. Вернадский: устойчивое развитие регионов Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс: в 5-ти томах. 2016. С. 117-125.

17. Романцова С.В., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю. Добавка к дизельному топливу из масла семян рыжика с повышенным кислотным числом // В сборнике: научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы международная научно-практическая конференция, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». 2016. С. 285-289.

18. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Алибаев Б.Т. Использование методов рафинации на предварительной стадии получения добавок к топливам. // В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК Сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». 2016. С. 292-298.

19. Романцова С.В., Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Получение присадок для дизельного топлива, используемого в сельском хозяйстве. // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 54-62.

20. Романцова С.В., Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Бусин И.В. Исследование смазывающих и низкотемпературных свойств дизельных топлив с добавлением пав на основе триацилглицеринов рыжикового масла. // Наука в центральной России. 2017. № 2 (26). С. 61-69.

21. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В. Исследование условий культивирования микроводоросли хлорелла в трубчатом фотобиореакторе. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. Т. 21. № 4. С. 653-659.

22. Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А., Ерохин И.В. Накопительное культивирование микроводоросли хлорелла в закрытом фотобиореакторе // Наука в центральной России. 2015. № 2 (14). С. 92-100.

23. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Дмитриев В.М., Ликсутина А.П., Ерохин И.В. Извлечение и анализ липидов из биомассы микроводорослей хлорелла // Наука в центральной России. 2015. № 3 (15). С. 14-20.

24. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Мещерякова Ю.В. Экстракция и анализ липидов из растительного сырья для получения биодизельного топлива // Наука в центральной России. 2015. № 6 (18). С. 33-40.

25. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г. Экспериментальное исследование работы дизельного двигателя на смесевом топливе // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 1. С. 9-11.

References

1. Kornev A.Yu. Bektilevov A.Yu. Alibayev B.T. Prichiny snizheniya kachestva svetlykh nefteproduktov. ispolzuyemykh v selskom khozyaystve. // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2016. № 4 (22). S. 15-26.

2. Kornev A.Yu. Nagornov S.A. Alibayev B.T. Svyaz kachestva motornogo topliva s sovremennym sostoyaniyem neftesklad0v. // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2016. № 4 (22). S. 26-35.

3. Ostrikov V.V. Petrashev A.I. Sazonov S.N. Zazulya A.N. Kornev A.Yu. Manayenkov K.A. Zavrazhnov A.I. Khatuntsev V.V. Mikheyev N.V. Mishin M.M. Astapov S.Yu. Kuznetsov P.N.

Toplivo. smazochnyye materialy i tekhnicheskiye zhidkosti Uchebnoye posobiye dlya VUZov / Michurinsk. 2017.

4. Nagornov S.A. Kornev A.Yu. Erokhin I.V. K voprosu kachestva nefteproduktov. ispolzuyemykh v selskom khozyaystve // Innovatsii v selskom khozyaystve. 2015. № 3 (13). S. 178-181.

5. Ostrikov V.V. Kornev A.Yu. Problemy effektivnogo ispolzovaniya nefteproduktov v selskokhozyaystvennoy tekhnike // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2015. № 1 (13). S. 66-71.

6. Lachuga Yu.F. Izmaylov A.Yu. Zhalnin E.V. Potentsial bioenergetiki v Rossii // Vestnik Orel GAU. № 6. 2007. S. 34 – 37.

7. Sorokin N.T. O zakonodatelnom obespechenii osnov bioenergetiki // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. № 6. 2007. S. 1 – 6.

8. Strategicheskiy plan issledovaniy. Tekhnologicheskaya platforma «Bioenergetika». Moskva. 2012. 44 s.

9. Mitusova T.N. Kalinina M.V. Danilov A.M. Biodizelnyye topliva // Neftekhimiya i neftepererabotka. 2004. № 2. S. 16.

10. Zazulya A.N. Nagornov S.A. Romantsova S.V. Fedorenko V.F. Buklagin D.S. Golubev I.G. Sravnitelnyy analiz tekhnologiy polucheniya biotopliva dlya dizelnykh dvigateley: nauchnoye izdaniye. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh». 2013. 96 s.

11. Romantsova S.V. Pavlov S.S. Erokhin I.V. Liksutina A.P. Sposoby intensifikatsii protsessa pereeterifikatsii rastitelnykh masel // V sbornike: Aktualnyye problemy estestvennykh nauk materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. otv. red. V.B. Makismenko. Tambov. 2014. S. 36-41.

12. Romantsova S.V. Pavlov S.S. Larina M.V. Erokhin I.V. Meshcheryakova Yu.V. Issledovaniye struktury potokov v vikhrevoy trube // V sbornike: Aktualnyye problemy estestvennykh nauk materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. otv. red. V.B. Maksimenko. Tambov. 2013. S. 109-114.

13. Nagornov S.A. Romantsova S.V. Ryazantseva I.A. Bodyagina S.V. Intensifikatsiya sinteza biodizelnogo topliva vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. 2010. № 5. S. 8-10.

14. Nagornov S.A. Romantsova S.V. Kornev A.Yu. Vybor reaktora dlya sinteza biodizelnogo topliva // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2015. № 2(14). S. 81-92.

15. Nagornov S.A. Kornev A.Yu. Romantsova S.V. Erokhin I.V. Innovatsionnaya tekhnologiya polucheniya biodizelnogo topliva // Selskiy mekhanizator. 2015. № 7. S. 36-37.

16. Nagornov S.A. Kornev A.Yu. Romantsova S.V. Liksutina A.P. Protsess polucheniya biodobavki k dizelnomu toplivu iz nekonditsionnogo masla s povyshennym kislotnym chislom. // V sbornike: V. I. Vernadskiy: ustoychivoye razvitiye regionov Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Elektronnyy resurs: v 5-ti tomakh. 2016. S. 117-125.

17. Romantsova S.V. Liksutina A.P. Kornev A.Yu. Dobavka k dizelnomu toplivu iz masla semyan ryzhika s povyshennym kislotnym chislom // V sbornike: nauchno-tekhnicheskiy progress v APK: problemy i perspektivy mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. v ramkakh XVIII Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal – 2016». 2016. S. 285-289.

18. Romantsova S.V. Kornev A.Yu. Alibayev B.T. Ispolzovaniye metodov rafinatsii na predvaritelnoy stadii polucheniya dobavok k toplivam. // V sbornike: Aktualnyye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK Sbornik nauchnykh statey XII Mezhdunarodnoy nauchno-

prakticheskoy konferentsii. v ramkakh XVIII Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal – 2016». 2016. S. 292-298.

19. Romantsova S.V. Alibayev B.T. Kornev A.Yu. Nagornov S.A. Polucheniye prisadok dlya dizelnogo topliva. ispolzuyemogo v selskom khozyaystve. // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2017. № 1 (25). S. 54-62.

20. Romantsova S.V. Alibayev B.T. Kornev A.Yu. Busin I.V. Issledovaniye smazyvayushchikh i nizkotemperaturnykh svoystv dizelnykh topliv s dobavleniyem pav na osnove triatsilglitserinov ryzhikovogo masla. // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2017. № 2 (26). S. 61-69.

21. Nagornov S.A. Meshcheryakova Yu.V. Issledovaniye usloviy kultivirovaniya mikrovodorosli khlorella v trubchatom fotobioreaktore. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. T. 21. № 4. S. 653-659.

22. Meshcheryakova Yu.V. Nagornov S.A. Erokhin I.V. Nakopitelnoye kultivirovaniye mikrovodorosli khlorella v zakrytom fotobioreaktore // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2015. № 2 (14). S. 92-100.

23. Nagornov S.A. Meshcheryakova Yu.V. Dmitriyev V.M. Liksutina A.P. Erokhin I.V. Izvlecheniye i analiz lipidov iz biomassy mikrovodorosley khlorella // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2015. № 3 (15). S. 14-20.

24. Nagornov S.A. Romantsova S.V. Meshcheryakova Yu.V. Ekstraktsiya i analiz lipidov iz rastitelnogo syria dlya polucheniya biodizelnogo topliva // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2015. № 6 (18). S. 33-40.

25. Nagornov S.A. Meshcheryakova Yu.V. Meshcheryakov A.G. Eksperimentalnoye issledovaniye raboty dizelnogo dvigatelya na smesevom toplive // Traktory i selkhozmashiny. 2016. № 1. S. 9-11.

УДК 532.1: 621.88

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПОРОВ В КОНСЕРВАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ НАГРЕВЕ В РЕЗЕРВУАРЕ С ЦОКОЛЬНЫМ ОТСЕКОМ

Петрашев Александр Иванович,
доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией,
E-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Князева Лариса Геннадьевна,
доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник, e-mail: vitin-10@mail.ru
Губашева Алмагуль Мустафаевна,
соискатель, e-mail: kungurova.almagul@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов,

Реферат. *Для повышения эффективности процесса противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники с использованием вязкой консервационной жидкости, исследованы гидростатические напоры, возникающие в ней при нагреве в цокольном отсеке напорного резервуара. Установлено, что в любом слое нагреваемой консервационной жидкости, удерживаемой перегородкой цокольного отсека, создается неуравновешенный горизонтальный напор гидростатического давления из-за гидростатического взаимодействия теплой и холодной фаз жидкости. Показано, что гидростатический напор*

способствует перемешиванию консервационной жидкости при нагреве в цокольном отсеке, так как направлен в сторону ее холодной фазы, а величина напора зависит от температуры фаз и координаты слоя относительно дна резервуара. Предложен способ повышения температуры жидкости при нагреве в цокольном отсеке, за счет уменьшения проницаемости перегородки и объема циркуляции жидкости через отсек. Разработана перегородка для цокольного отсека из двух сеток, основной и комбинированной, позволяющих оперативно корректировать проницаемость перегородки. Установлено, что в цокольном отсеке под комбинированной сеткой консервационная жидкость нагревается от 10 до 40 °С в течение 6-17 мин. Разработанный способ нагрева вязкой консервационной жижкости в напорном резервуаре способствует росту производительности консервации сельскохозяйственной техники за счет сокращения длительности ввода оборудования в работу при пониженной до 0-10 °С температуре воздуха.

***Ключевые слова**: сельскохозяйственная техника, противокоррозионная защита, нагрев вязкой консервационной жидкости, напорный резервуар, гидростатическое давление.*

INVESTIGATION OF HYDROSTATIC HEAD IN THE CONSERVATIVE LIQUID WHEN HEATED IN TANK WITH A SOCLE SECTION

Petrashev Alexandr,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor, laboratory chief,
E-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Knyazeva Larisa,
Full Doctor of Chemical Sciences, associate professor, Chief Researcher,
e-mail: vitin-10@mail.ru
Gubasheva Almagul,
Competitor, the FGBNU «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov

***Abstract.** Hydrostatic heads arising in a viscous conservation liquid when heated in the socle section of a pressure tank to improve the efficiency of the process of corrosion protection of agricultural machinery using a viscous preservative fluid. It is established that in any layer of the heated conservation liquid held by the partition of the socle section, the unbalanced horizontal head of hydrostatic pressure is created due to the hydrostatic interaction of the warm and cold phases of the liquid. It is shown that the hydrostatic head facilitates the mixing of the conservation liquid when heated in the socle section, as it is directed towards its cold phase, and the pressure depends on the phase temperature and the co-ordinate of the layer relative to the bottom of the tank. A method for increasing the temperature of a liquid when heated in a socle section is proposed, by reducing the permeability of the partition and the volume of fluid circulation through the section. The partition for a socle section from the two nets, basic and combined, allowing quickly adjust the permeability of the partition is designed. It is established that the conservation liquid is heated from 10 to 40 °C for 6-17 minutes in the socle section under the combined grid. The developed method of heating a viscous conservation liquid in a pressure tank promotes an increase in the productivity of conservation of agricultural machinery due to a reduction in the duration of commissioning of equipment in operation with an air temperature lowered to 0-10 ° C.*

***Key words**: agricultural machinery, anticorrosive protection, heating of viscous conservation liquid, pressure tank, hydrostatic pressure.*

Введение. При защите рабочих органов сельскохозяйственной техники вязкими консервационными жидкостями используют напорный резервуар, из которого жидкость по шлангу под давлением сжатого воздуха нагнетается в пневматический распылитель для нанесения. В связи с тем, что работы по консервации техники проводятся осенью при пониженной до 0-10 ^{o}C температуре, вязкость консервационных жидкостей резко возрастает. Это приводит к снижению производительности оборудования и защитных свойств нанесенных покрытий. Для того чтобы обеспечить надежную работу оборудования и достаточную производительность консервации, вязкую жидкость необходимо разжижать нагревом в резервуаре и наносить в нагретом виде. Поэтому актуальна задача повышения эффективности процесса нагрева консервационной жидкости, решение которой позволит минимизировать потребление энергии в полевых условиях и снизить время ввода оборудования в рабочий режим. Известные технологии нагрева вязких консервационных жидкостей в условиях открытых площадок хранения машин не содержат научно обоснованного способа эффективного решения данной задачи. Необходим теоретический анализ процесса нагрева вязкой жидкости для обоснования эффективного способа ее нагрева.

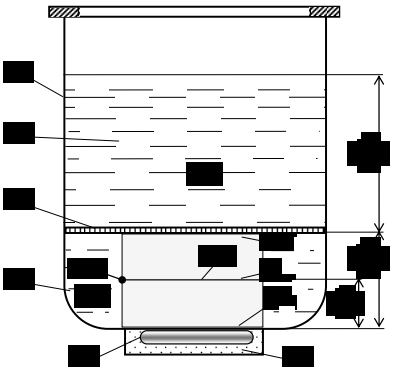
Результаты и обсуждение. Рассмотрим напорный резервуар 1 для нагрева вязкой консервационной жидкости, оснащенный трубчатым электрическим нагревателем 5 и проницаемой перегородкой 3, которая разделяет резервуар 1 на верхний 2 и нижний (цокольный) 4 отсеки (рисунок 1). Электрический нагреватель установлен в коробе под дном резервуара [1], залит теплоотводящим материалом 6 – смесью периклаза с раствором силиката натрия. Теплопроводность периклаза достаточно высока, 42 Вт/(м·град) [2, с. 267], и сопоставима с теплопроводностью стали, 46 Вт/(м·град) [3, с. 109]. Применение периклаза способствует более равномерному распределению теплоты от нагревателя по поверхности дна резервуара, предотвращая температурную деструкцию консервационной жидкости. В качестве проницаемой перегородки может быть применена мелкоячеистая сетка.

При включении в работу нагревателя консервационная жидкость, контактирующая с дном резервуара, нагревается до температуры $T_н$, а ее плотность $\rho_н$ снижается [4, 5]:

$$\rho_н = \rho_о\left[1 - \beta\left(T_н - T_о\right)\right], \quad (1)$$

где $\rho_о$ - плотность холодной жидкости при исходной (начальной) температуре $T_о$, кг/м^3;

β - температурный коэффициент изменения плотности жидкости, ^{o}C^{-1}.



$\rho_о$ – плотность холодной жидкости; $\rho_д$ – плотность нагретой жидкости на уровне дна резервуара; ρ_z – плотность нагретой жидкости на уровне Z; $\rho_п$ - плотность нагретой жидкости на уровне перегородки

Рисунок 1 – Напорный резервуар для нагрева вязкой консервационной жидкости

Проницаемая перегородка в течение некоторого промежутка времени может удерживать нагреваемую вязкую жидкость в цокольном отсеке резервуара. Рассмотрим гидростатические силы, действующие внутри объема нагреваемой жидкости, имеющего форму вертикального цилиндра высотой $H_ц$, равной высоте цокольного отсека.

Допустим, что в процессе нагрева температура $T_н$ и плотность $\rho_н$ нагреваемой жидкости постоянны по всему объему высотой $H_ц$, а температура $T_о$ и плотность $\rho_о$ холодной жидкости постоянны в верхнем отсеке резервуара на высоту H_1 и в цокольном отсеке на высоту $H_ц$ вокруг объема нагреваемой жидкости.

На уровне координаты $Z > 0$ объем нагреваемой жидкости условно рассечем горизонтальной плоскостью. Сверху на плоскость действует вертикальная сила $F_в$ гидростатического давления, направленная вниз:

$$F_1 = \left[\rho_о H_1 + \rho_н (H_ц - Z)\right] g \cdot S ,$$

где S - площадь сечения плоскости, м^2.

Снизу на плоскость действует вертикальная сила $F_н$ гидростатического давления, направленная вверх:

$$F_2 = \left[\rho_о (H_1 + H_ц) - \rho_н Z\right] g \cdot S .$$

Результирующая $\Delta F_в$ вертикальных сил разнонаправленных гидростатических давлений составит:

$$\Delta F_в = F_2 - F_1 = (\rho_о - \rho_н) H_ц g \cdot S .$$

Как видим, результирующая вертикальных гидростатических сил $\Delta F_в > 0$, направлена вверх и не зависит от координаты Z плоскости.

Следовательно, в нагреваемой смазке возникает вертикальный напор $\Delta P_в$ гидростатического давления, определяемый по формуле:

$$\Delta P_в = \Delta F_в / S = (\rho_о - \rho_н) g H_ц . \quad (2)$$

С учетом выражения (1) преобразуем формулу (2) в уравнение:

$$\Delta P_в = \rho_о \beta (T - T_о) g H_ц . \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что в любом горизонтальном сечении нагреваемой консервационной жидкости, удерживаемой перегородкой в цокольном отсеке резервуара, действует неуравновешенный вертикальный напор гидростатического давления, величина которого направлена вверх и напрямую зависит от температуры нагрева жидкости и высоты цокольного отсека. Под действием вертикального гидростатического напора нагретая консервационная жидкость стремится проникнуть через проницаемую перегородку в верхний отсек резервуара.

Известно, что гидростатическое давление во всякой точке жидкости имеет одно и то же значение по всем направлениям и является функцией только ее координат [6, с. 24]. Выделим по координате Z на границе раздела нагретой и холодной жидкости элементарную вертикальную площадку dS. Примем, что в границах элементарной площадки значения горизонтальных гидростатических давлений неизменны. Сравним горизонтальные гидростатические силы, действующие на вертикальную элементарную площадку.

Со стороны холодной жидкости на элементарную площадку действует горизонтальная сила F_3, величина которой определяется по формуле:

$$F_3 = \rho_о (H_1 + H_ц - Z) g \cdot dS .$$

Со стороны нагретой жидкости на элементарную площадку действует горизонтальная

сила F_4, величина которой определяется по формуле:

$$F_4 = \left[\rho_о (H_1 + H_ц) - \rho_н Z\right] g \cdot dS \ .$$

Результирующая $\Delta F_г$ горизонтальных сил разнонаправленных гидростатических давлений составит:

$$\Delta F_г = F_4 - F_3 = (\rho_о - \rho_н) gZ \cdot dS \ .$$

Как видим, результирующая горизонтальных гидростатических сил $\Delta F_г > 0$, направлена от нагретой жидкости к холодной, а ее величина зависит от координаты Z элементарной площадки относительно дна резервуара.

Следовательно, в объеме нагреваемой жидкости, находящейся в цокольном отсеке резервуара, имеет место горизонтальный гидростатический напор $\Delta P_г$:

$$\Delta P_г = \Delta F_г \big/ dS = (\rho_о - \rho_н) gZ \ . \tag{4}$$

С учетом выражения (1) преобразуем формулу (4) в уравнение:

$$\Delta P_г = \rho_о \beta \left(T_н - T_о\right) gZ \ . \tag{5}$$

Из уравнения (5) следует, что в любом сечении нагреваемой консервационной жидкости, удерживаемой перегородкой в цокольном отсеке резервуара, действует неуравновешенный горизонтальный напор гидростатического давления, величина которого направлена в сторону холодной жидкости и зависит от температуры ее нагрева и координаты относительно дна резервуара.

В рамках принятого допущения о равномерном распределении температуры по объему нагреваемой жидкости величина горизонтального гидростатического напора возрастает по мере удаления сечения от дна резервуара, достигая максимума $\Delta P_{г.max}$ на уровне перегородки:

$$\Delta P_{г.max} = \rho_о \beta \left(T_н - T_о\right) gH_ц \ . \tag{6}$$

На уровне перегородки значения горизонтального и вертикального гидростатических напоров сравниваются.

Картина распределения вертикального и горизонтального напоров по высоте $H_ц$ объема нагреваемой жидкости изображена на рисунке 2. Показано, что в любом сечении нагреваемой жидкости величина вертикального гидростатического напора $\Delta P_в$ – const, а горизонтального гидростатического напора равномерно возрастает от $\Delta P_г = 0$ на уровне дна резервуара до $\Delta P_{г.max} = \Delta P_в$ на уровне перегородки.

Если нагреваемая жидкость недостаточно разжижена и не способна проникнуть через перегородку под действием вертикального гидростатического напора, то под действием горизонтального гидростатического напора жидкость перемещается к стенкам резервуара. Причем процесс расширения нагреваемой жидкости более заметен вблизи перегородки, где имеет место максимальная величина горизонтального гидростатического напора - $\Delta P_{г.max.}$

Рассмотрим изменение гидростатических напоров внутри цокольного отсека в случае прекращения работы нагревателя. После отключения нагревателя более нагретый слой жидкости, имея меньшую плотность - $\rho_н$, располагается вверху на уровне перегородки (см. рисунок 1), а менее нагретый слой с плотностью $\rho_д$ – на уровне дна.

Исследуем гидростатические напоры при равномерном уменьшении плотности нагретой жидкости по высоте $H_ц$ цокольного отсека.

Коэффициент k_ρ изменения плотности нагретой жидкости:

$$k_\rho = \frac{\rho_д - \rho_н}{H_ц} \ . \tag{7}$$

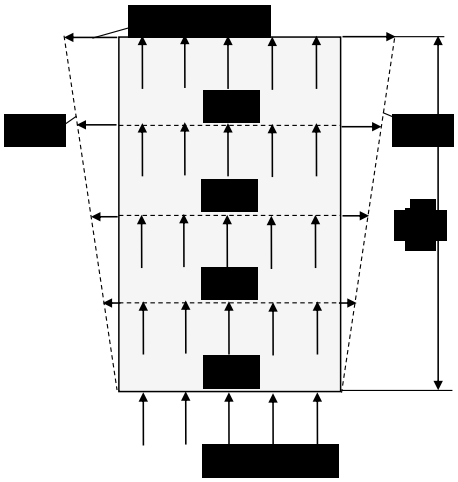


Рисунок 2 – Распределение вертикального $\Delta P_в$ и горизонтального $\Delta P_г$ гидростатических напоров нагреваемой консервационной жидкости в сечениях цокольного отсека

Плотность жидкости ρ_z на уровне координаты Z:

$$\rho_z = \rho_д - k_\rho Z = \rho_д - (\rho_д - \rho_н)\frac{Z}{H_ц}. \quad (8)$$

Вертикальный гидростатический напор $\Delta P_{в.z}$ на уровне Z:

$$\Delta P_{в.z} = P_{2.z} - P_{1.z}, \quad (9)$$

где $P_{1.z}$ - гидростатическое давление внутри объема нагретой жидкости на уровне Z, действующее сверху вниз, Па; $P_{2.z}$ - гидростатическое давление внутри объема нагретой жидкости на уровне Z, действующее снизу вверх, Па.

Гидростатическое давление $P_{1.z}$ на уровне Z, действующее сверху:

$$P_{1.z} = \rho_о g H_1 + 0{,}5(\rho_н + \rho_z) g (H_ц - Z), \quad (10)$$

где $0{,}5(\rho_п + \rho_z)$ - средняя плотность столба жидкости высотой ($H_ц - Z$), кг/м^3.

Гидростатическое давление $P_{2.z}$ на уровне Z, действующее снизу:

$$P_{2.z} = \rho_о g (H_1 + H_ц) - 0{,}5(\rho_д + \rho_z) g Z, \quad (11)$$

где $0{,}5(\rho_д + \rho_z)$ - средняя плотность столба жидкости высотой Z, кг/м^3.

Подставляем выражения (10) и (11) в (9). После алгебраических действий получим:

$$\Delta P_{в.z} = [\rho_о H_ц - 0{,}5(\rho_д - \rho_н) Z - 0{,}5(\rho_z + \rho_н) H_ц] g. \quad (12)$$

Выражение (12) содержит четыре величины плотности жидкости, что затрудняет его анализ. Заменив в выражении (12) величину плотности - ρ_z на ее составляющие согласно формуле (8), найдем вертикальный гидростатический напор на уровне Z:

$$\Delta P_{в.z} = [\rho_о - 0{,}5(\rho_д + \rho_н)] g H_ц. \quad (13)$$

С помощью выражения (1) приведем в формуле (13) плотности ($\rho_д$, $\rho_н$) к соответствующим температурам:

$$\Delta P_{в.z} = \rho_о \beta [0{,}5(T_д + T_н) - T_о] g H_ц. \quad (14)$$

Из выражения (14) следует, что при различной температуре жидкости по высоте нагретого объема, величина вертикального гидростатического напора в нем одинакова на любом уровне цокольного отсека:

$$\Delta P_{в.z} = \Delta P_в - \text{const}.$$

Проверим справедливость выражения (13) для граничных условий.

а) Если температура в объеме нагретой жидкости одинакова по всей высоте цокольного отсека, т.е. $T_д = T_н$, то величина гидростатического напора определяется по формуле, аналогичной (2):

$$\Delta P_в = \rho_о \beta (T_н - T_о) g H_ц .$$

При этом величина вертикального гидростатического напора максимальна, она зависит от высоты цокольного отсека и температуры нагрева жидкости.

б) Если жидкость по всей высоте отсека охладится до начальной температуры, т.е. её температура $T_д = T_н = T_о$, то вертикальный напор отсутствует, так как:

$$\Delta P_в = 0 .$$

в) Если жидкость охладится до начальной температуры только на дне отсека, т.е. $T_д = T_о$, то величина вертикального напора будет равна половине от максимального:

$$\Delta P_в = 0{,}5 \rho_о \beta (T_н - T_о) g H_ц .$$

Горизонтальный гидростатический напор $\Delta P_{г.z}$ на уровне Z определим по формуле:

$$\Delta P_{г.z} = P_{2.z} - P_{3.z} , \qquad (15)$$

где $P_{2.z}$ - гидростатическое давление на уровне Z, действующее со стороны нагретой жидкости на холодную, Па;

$P_{3.z}$ - гидростатическое давление на уровне Z, действующее со стороны холодной жидкости на нагретую, Па.

Гидростатическое давление $P_{2.z}$ определяем по формуле (11).

Гидростатическое давление $P_{3.z}$ определяем по формуле:

$$P_{3.z} = \rho_о g (H_1 + H_ц - Z) . \qquad (16)$$

Подставив формулы (11) и (16) в (15), определяем горизонтальный гидростатический напор:

$$\Delta P_{г.z} = [\rho_о - 0{,}5(\rho_д + \rho_z)] g Z . \qquad (17)$$

Заменив в формуле (17) плотность ρ_z выражением (8), уточним величину горизонтального гидростатического напора:

$$\Delta P_{г.z} = (\rho_о - \rho_д) g Z + (\rho_д - \rho_н) g \frac{Z^2}{H_ц} . \qquad (18)$$

В уравнении (18) выразим плотности через температурные зависимости, используя формулу (1):

$$\Delta P_{г.z} = \rho_о \beta \left[(T_д - T_о) Z + 0{,}5(T_н - T_д) \frac{Z^2}{H_ц} \right] g . \qquad (19)$$

Функция (19) возрастает с увеличением координаты Z, достигая максимума в верхней точке цокольного отсека на уровне перегородки, при $Z = H_ц$:

$$\Delta P_{г.z.max} = \rho_о \beta [0{,}5(T_н + T_д) - T_о] g H_ц . \qquad (20)$$

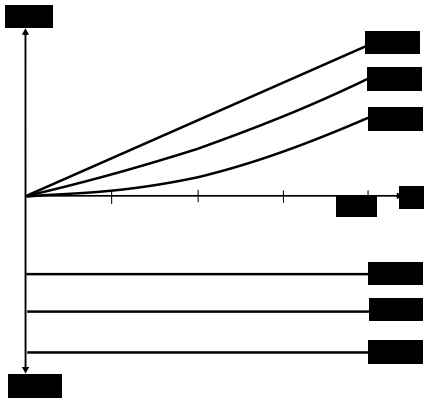
Если на дне цокольного отсека жидкость нагрета до температуры $T_д = T_н$, то выражение (20) становится тождественным выражению (6):

$$\Delta P_{г.z.max} = \rho_о \beta (T_н - T_о) g H_ц = \Delta P_{г.max} .$$

На рисунке 3 показан характер изменения вертикального $\Delta P_в$ и горизонтального $\Delta P_г$ гидростатических напоров по высоте $H_ц$ цокольного отсека в зависимости от температуры $T_д$ жидкости на уровне дна.

Проведя анализ горизонтального гидростатического напора, следует сделать акцент на

его возникновении и механизме действия. Горизонтальный напор возникает в нижних слоях нагреваемой вязкой жидкости цокольного отсека из-за перегородки, препятствующей свободному подъему жидкости. Неуравновешенное гидростатическое давление от нижних слоев холодной и более плотной жидкости передается вверх по объему менее плотной нагретой жидкости. Это давление через нагретую жидкость по горизонтали воздействует на верхние слои холодной жидкости, окружающей нагреваемую жидкость в цокольном отсеке. Горизонтальный перепад гидростатического давления в цокольном отсеке возникает после включения нагревателя и повышении температуры жидкости. Он продолжает действовать после отключения нагревателя до тех пор, пока сохраняется температурный градиент в жидкости цокольного отсека.



$\Delta P_{в.1}$ и $\Delta P_{г.1}$ – гидростатические напоры при температуре $T_д = T_н$;
$\Delta P_{в.2}$ и $\Delta P_{г.2}$ – гидростатические напоры при температуре $T_д = 0{,}5(T_н + T_о)$;
$\Delta P_{в.3}$ и $\Delta P_{г.3}$ – гидростатические напоры при температуре $T_д = T_о$

Рисунок 3 – Характер изменения вертикального $\Delta P_в$ и горизонтального $\Delta P_г$ гидростатических напоров в объеме консервационной жидкости в зависимости от ее температуры $T_д$ на уровне дна и высоты Z цокольного отсека

Горизонтальный гидростатический напор способствует смешиванию теплой и холодной фаз консервационной жидкости в цокольном отсеке, а также перемещению нагретой жидкости вдоль перегородки к периферии цокольного отсека - к стенке резервуара. При наличии зазора между перегородкой и стенкой резервуара, нагретая жидкость проникает через него в верхний отсек [7].

При этом холодная жидкость из верхнего отсека, контактируя с нагретой перегородкой, разжижается и проникает в цокольный отсек. Мощность N нагревателя тратится на подогрев консервационной жидкости, циркулирующей через цокольный отсек:

$$N = Cm\,(T_н - T_о)/t\,, \tag{21}$$

где C - теплоемкость жидкости, в среднем $C = 2000$ Дж / (кг · °С) [8];

m - масса циркулирующей жидкости, кг; t - длительность нагрева жидкости, с.

Количество q циркулирующей жидкости в единицу времени:

$$q = m/t\,. \tag{22}$$

С учетом выражения (22) формулу (21) представим в виде:

$$q \cdot \Delta T_н = N/C\,, \tag{23}$$

где ΔT – интервал нагрева жидкости в цокольном отсеке, $\Delta T = T_н - T_о$, °С.

Так как мощность N нагревателя и теплоемкость C жидкости в процессе ее нагрева практически не изменяются, то отношение N/C является постоянной величиной,

следовательно, постоянно произведение:

$$q \cdot \Delta T_{н} - \text{const} \quad .$$

При этом между количеством q циркулирующей жидкости и величиной интервала ΔT существует обратная зависимость, изображенная на рисунке 4.

Из приведенных зависимостей можно сделать вывод, что для повышения температуры $T_н$ жидкости в цокольном отсеке следует уменьшить объем ее циркуляции через этот отсек. При использования металлической сетки в качестве проницаемой перегородки на объем циркуляции влияют размеры ячеек (номер сетки). В работе [8] показано, что влияние размеров ячеек на интенсивность нагрева жидкости под сеткой напрямую зависит от вязкости жидкости. Для ускорения нагрева менее вязкой жидкости требуется более мелкая сетка на перегородке, чтобы снизить ее проницаемость и циркуляцию жидкости.

С целью повышения оперативности при корректировке проницаемости перегородки, в напорном резервуаре предложено устанавливать 2 сетки: основную и комбинированную (рисунок 5). Комбинированная сетка включает две сетки, совмещенные с зазором 10 мм.

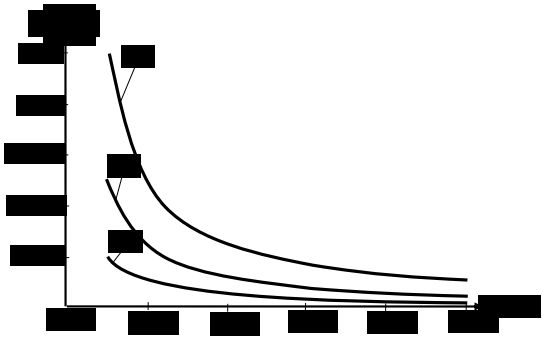


Рисунок 4 – Влияние мощности нагревателя N (1 – 1000, 2 – 500, 3 – 100 Вт) и количества q циркулирующей жидкости на интервал ΔT ее нагрева в цокольном отсеке

Рисунок 5 – Напорный резервуар (1) и проницаемая перегородка, содержащая основную (2) и комбинированную (3) сетки

В напорном резервуаре с проницаемой перегородкой исследованы показатели нагрева консервационной жидкости, содержащей отработанное синтетическое масло Мобиил-1 (90 мас.%) и кубовые амины (10 мас. %). На рисунке 6 показана динамика изменения температуры консервационной жидкости в цокольном отсеке под основной (кривая 2) и комбинированной (кривая 3) сетками, измерения температуры выполнены на расстоянии 10 мм от сетки и стенки резервуара. Кривая 1 отражает температуру жидкости над комбинированной сеткой (8 мм) по центру резервуара. Объем цокольного отсека - 5,6 л, объем жидкости в напорном резервуаре – 15,0 л, мощность нагревателя - 500 Вт.

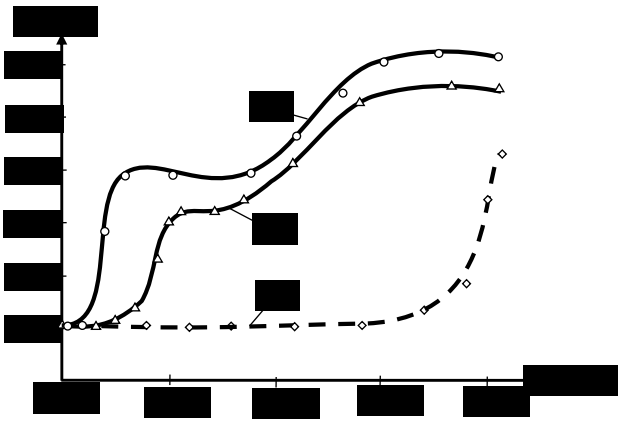


Рисунок 5 – Динамика нагрева консервационной жидкости в напорном резервуаре под основной (2) и комбинированной (3) сетками цокольного отсека и в верхнем отсеке над комбинированной сеткой (1)

Исследование показало, что в цокольном отсеке под комбинированной сеткой верхний слой консервационной жидкости нагревается от 10 до 40 ^{o}C в течение 6 мин. Нагретый сверхний слой под действием горизонтального гидростатического напора достаточно быстро достигает стенки отсека. Затем температура жидкости под сеткой стабилизируется в интервале времени 6-17 мин, в течение которого прогреваются нижележащие слои жидкости, заключенной в цокольном отсеке.

Заключение. Таким образом, благодаря введению проницаемой перегородки с одной или двумя сетками в обогреваемый напорный резервуар, используемый при нанесении консервационной жидкости на сельхозмашины, создаются условия:

- для регулирования температуры нагрева вязкой жидкости;
- для применения низковольтного нагревателя небольшой мощности, способного работать от автотракторного генератора напряжением 28 В;
- для роста производительности консервации сельскохозяйственной техники за счет сокращения длительности ввода оборудования в работу при пониженной до 0-10 ^{o}C температуре воздуха.

Список литературы

1. Губашева, А.М. Навесной агрегат для консервации аграрной техники при пониженных температурах / А.М. Губашева, А.И. Петрашев, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля // Наука в центральной России. - 2017. - № 1 (25). - С. 43-54.

2. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с.

3. Кошкин, Н.И. Справочник по элементарной физике: 10-е изд., испр. и доп. / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. – М.: Наука, 1986. – 256 с.

4. Петрашев, А.И. Гидростатическое взаимодействие горячей и холодной смазки в напорном баке / А.И. Петрашев, А.Н. Зазуля, В.В. Клепиков, М.А. Петрашева // Научное обозрение. – 2015. – № 11. – С. 35-40.

5. Петрашев, А.И. Изменение плотности при нагреве и плавлении компонентов консервационных материалов / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков, Ф.Д. Таха // Наука в центральной России. – 2015. – № 2 (14). – С. 34-43.

6. Рабинович, Е.З. Гидравлика. Учебное пособие для вузов / Е.З. Рабинович. - М.: Недра. - 1980. - 278с.

7. Петрашев, А.И. Исследование процесса нагрева загущенной смазки в напорном баке с разделительной сеткой / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков / В сбор. док. «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК». – Мичуринск: Изд-во 2Д Мичуринск, 2015. – С. 259-269.

8. Клепиков, В.В. Обоснование технологии и параметров оборудования для консервации почвообрабатывающей техники загущенными смазками: дис. … канд. тех. наук: 05.20.03 / Мичуринский государственный аграрный университет / Клепиков Виктор Валерьевич. – Тамбов. – 2016. – 194 с.

References

1. Gubasheva, A.M. Navesnoj agregat dlja konservacii agrarnoj tehniki pri ponizhennyh temperaturah / A.M. Gubasheva, A.I. Petrashev, L.G. Knjazeva, A.N. Zazulja // Nauka v central'noj Rossii. - 2017. - № 1 (25). - S. 43-54.

2. Tablicy fizicheskih velichin. Spravochnik / Pod red. akad. I.K. Kikoina. – M.: Atomizdat, 1976. – 1006 s.

3. Koshkin, N.I. Spravochnik po jelementarnoj fizike: 10-e izd., ispr. i dop. / N.I. Koshkin, M.G. Shirkevich. – M.: Nauka, 1986. – 256 s.

4. Petrashev, A.I. Gidrostaticheskoe vzaimodejstvie gorjachej i holodnoj smazki v napornom bake / A.I. Petrashev, A.N. Zazulja, V.V. Klepikov, M.A. Petrasheva // Nauchnoe obozrenie. – 2015. – № 11. – S. 35-40.

5. Petrashev, A.I. Izmenenie plotnosti pri nagreve i plavlenii komponentov konservacionnyh materialov / A.I. Petrashev, V.V. Klepikov, F.D. Taha // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. – № 2 (14). – S. 34-43.

6. Rabinovich, E.Z. Gidravlika. Uchebnoe posobie dlja vuzov / E.Z. Rabinovich. - M.: Nedra. - 1980. - 278s.

7. Petrashev, A.I. Issledovanie processa nagreva zagushhennoj smazki v napornom bake s razdelitel'noj setkoj / A.I. Petrashev, V.V. Klepikov / V sbor. dok. «Inzhenernoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v APK». – Michurinsk: Izd-vo 2D Michurinsk, 2015. – S. 259-269.

8. Klepikov, V.V. Obosnovanie tehnologii i parametrov oborudovanija dlja konservacii pochvoobrabatyvajushhej tehniki zagushhennymi smazkami: dis. … kand. teh. nauk: 05.20.03 / Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet / Klepikov Viktor Valer'evich. – Tambov. – 2016. – 194 s.

УДК 631.3:631.15.017.3

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ, ОТРАЖАЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ

Сазонова Дамира Давидовна,
кандидат экономических наук, доцент, E-mail: snsazon@mail.ru
Сазонов Сергей Николаевич,
доктор технических наук, профессор, E-mail: snsazon@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов.

Реферат. *Развитие фермерских хозяйств является важнейшим направлением в аграрном секторе Тамбовской области. Выявлено отсутствие пригодных для практического использования научно обоснованных рекомендаций, позволяющих оптимизировать использование имеющихся в фермерских хозяйствах производственных ресурсов. Исследовали влияние основных производственных ресурсов на результаты деятельности фермерских хозяйств Тамбовской области. Статистическая база исследований - результаты мониторинга деятельности фермерских хозяйств Тамбовской области, проведенного авторами в 2001-2016гг. В результате проведенных исследований получена производственная функция, описывающая влияние на выручку от реализации сельскохозяйственной продукции основных производственных ресурсов, используемых в фермерских хозяйствах Тамбовской области: площади пашни; количества техники в хозяйстве (тракторы гусеничные и колесные, зерноуборочные комбайны и грузовые автомобили); затрат на приобретение топливно-смазочных материалов; затрат на приобретение запасных частей; затрат на приобретение семян, удобрений и прочих материалов и на оплату услуг сторонних организаций; количества работников в хозяйстве. Проведенные расчеты позволяют утверждать, что 89% вариаций результирующей переменной объясняется указанными факторами-ресурсами производства. Установлено, во-первых, все коэффициенты производственной функции положительные, сумма их составляет 1,073, что означает возрастающий эффект масштаба. Во-вторых, принимая эту сумму за 100%, можно утверждать, что весомость влияния на увеличение валовой выручки от реализации сельскохозяйственной продукции таких факторов как обеспеченность техникой и топливно-смазочными материалами составляет в общей сложности 47,9%. Вывод: именно эти два фактора в настоящее время во многом предопределяют итоги деятельности фермерских хозяйств.*

Ключевые слова: *фермерские хозяйства, Тамбовская область, производственные ресурсы.*

ANALYSIS OF PRODUCTION FUNCTION THAT DESCRIBES EFFICIENCY OF PRODUCTION RESOURCES USE IN FARMING ENTERPISES

Sazonova Damira,
PhD (Economics), associate professor,
Sazonov Sergei
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture», Tambov

Abstract. *The development of farming enterprises is an important trend of the Tambov region's agricultural sector. It was revealed that scientifically based recommendations that are suitable for practical use, to optimize the use of production resources in farming enterprises are absent. The influence of the main production resources on the performance of farms in the Tambov region was investigated. Statistical base of the research consists of monitoring results of farming enterprises performance carried out by the authors in the Tambov region during 2001-2016. As a result of the research, a production function has been obtained that describes the impact of the main production resources used in the farming enterprises of the Tambov Region on revenues from the sale of agricultural products: cultivated land surface; number of machinery in the farming enterprises (caterpillar and wheeled tractors, combine harvesters and trucks); fuel price; spare parts price; seeds*

price; fertilizers and other materials price; costs of third party organizations services*; number of employees in the farming enterprise. The calculations revealed that 89% of the variations in the resultant variable can be explained by the production resources listed above. First, it results that all production function coefficients are positive and equal in sum to 1,073, which means an increasing scale effect. Secondly, taking this amount for 100%, it can be argued that the weight of the influence of such factors as the supply of machinery and fuel and lubricants to increase gross revenues from the sale of agricultural products is a total of 47.9%. Conclusion: it is these two factors that now largely determine the results of farm operations.*

Keywords. *Farm enterprises, Tambov Oblast', production resources.*

Введение. Развитие малых форм хозяйствования, прежде всего фермерских хозяйств, на селе является важнейшим приоритетом в развитии аграрного сектора Тамбовской области в рамках концепции импортовытеснения и устойчивого социально-экономического развития сельских территорий. Однако, пригодных для практического использования в современных условиях, научно-методических материалов и научно обоснованных рекомендаций, позволяющих оптимизировать использование имеющихся в фермерских хозяйствах производственных ресурсов и повысить эффективность использования средств государственной поддержки, привлекаемых из федерального и регионального бюджетов для активизации и поддержки фермерского сектора, пока нет. Имеющиеся на этот счет научно-методические разработки и рекомендации в отношении крупных хозяйств, для фермерских хозяйств непригодны не только из-за существенных масштабных отличий по количеству и качеству используемых ресурсов производства, но и по ряду принципиальных организационно-экономических различий (иная мотивация производственной деятельности, иная структура формирования себестоимости, иная организационно-производственная структура, иные источники, используемых финансовых средств, и т.д. и т.п.) [1-4]. Цель работы – оценить влияние основных производственных ресурсов на результаты деятельности фермерских хозяйств Тамбовской области.

Материалы и методы. Результаты мониторинга деятельность фермерских хозяйств Тамбовской области, проведенного в 2001-2016гг. [5-13], с использованием методики разработанной авторами [14,15], а также традиционные методы анализа производственной функции.

Результаты и обсуждение. Как известно, производственная функция представляет собой множественную регрессию результативного признака (результат производства) с независимыми переменными (затраты ресурсов). На основании ранее проведенных исследований [16], в качестве переменных факторов и результирующей переменной в производственную функцию включены показатели, указанные в таблице 1. Ошибка репрезентативности составила от 2,9 % (для фактора X_6) до 14,4% (для фактора X_5). Для определения существенности колебаний значений факторов в зависимости от календарного года в производственную функцию введен дополнительный фактор - фиктивная переменная (dummy variable) D, которая определялась как D=1, 2, …, 14, 15 для данных, соответственно, за 2001, 2002-2015 и 2016 годы. Так, судя по коэффициентам парной корреляции (таблица 2), значение календарного года прямо пропорционально факторам X_1, X_3, X_4 и X_5, то есть с течением времени (увеличением значения фиктивной переменной) растут площадь пашни и материальные расходы хозяйства (расходы на горюче-смазочные материалы, запасные части, семена, удобрения и прочие). Обратно пропорционально значение календарного года

факторам X_2 и X_6: с увеличением значения фиктивной переменной снижается обеспеченность среднего крестьянского (фермерского) хозяйства техникой и работниками. Эти выводы полностью подтверждаются результатами проведенного выше анализа деятельности фермерских хозяйств.

Таблица 1 - Статистические характеристики ресурсов производства

Факторы (ресурсы)		Среднее значение ($\tilde{x}$)	Среднеквадратическое отклонение, (σ)	Ошибка репрезентативности ($\mu_{\%}$)	Предельная ошибка выборки (Δ_x)
X_1	Площадь пашни, га	104,7	125,7	6,4	±8,5
X_2	Количество техники (тракторы, комбайны и грузовые автомобили), шт.	2,7	1,7	3,3	±0,1
X_3	Затраты на приобретение ТСМ, тыс.руб.	70,5	125,9	9,5	±8,6
X_4	Затраты на приобретение запасных частей, тыс.руб.	29,4	64,6	11,7	±4,4
X_5	Затраты на приобретение семян, удобрений и прочих материалов, оплату услуг сторонних организаций, тыс. руб.	29,2	79,1	14,4	±5,4
X_6	Количество работников в хозяйстве, чел.	2,0	1,1	2,9	±0,07
Y	Выручка от реализации сельскохозяйственной продукции, тыс. руб.	185,2	417,6	12,0	±28,4

Таблица 2 - Коэффициенты парной корреляции

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	D
X_1	1						
X_2	0,66	1					
X_3	0,74	0,63	1				
X_4	0,65	0,58	0,78	1			
X_5	0,56	0,48	0,72	0,75	1		
X_6	0,69	0,62	0,58	0,52	0,48	1	
D	0,05	-0,11	0,19	0,30	0,22	-0,24	1

Между всеми факторами, исключая фиктивную переменную, существует довольно тесная корреляционная связь: значения коэффициентов парной корреляции между независимыми переменными находятся в диапазоне от $r_{x_2 x_5}$ = 0,48 (связь факторов X_2 - количество техники в хозяйстве и X_5 -затраты на приобретение семян, удобрений и прочих материалов) до $r_{x_3 x_4}$ = 0,78 (связь факторов X_3 – расходы на приобретение ТСМ и X_4 – расходы на запасные части). Но мультиколлинеарности нет (все коэффициенты парной корреляции не выше 0,8), и, в принципе, все факторы, включая фиктивную переменную, могут быть включены в производственную функцию.

Для отбора факторов в производственную функцию проанализированы коэффициенты

корреляции между факторами (X_i и D) и результативной переменной (Y) (таблица 3). Все рассмотренные факторы, кроме фиктивной переменной, очень сильно коррелируют с результативной переменной (Y), причем наибольшая ее связь с фактором X_3, (затраты на приобретение ТСМ). Сопоставления полученных значений t-критерия и табличных показывают, что все коэффициенты корреляции факторов X_i (i=1,…,6) имеют очень высокий уровень значимости (вероятность ошибки не превосходит α=0,001).

Коэффициент корреляции фиктивной переменной (D) можно признать по t – критерию только относительно значимым, вероятность ошибки на порядок выше: α=0,01. Поэтому имеет смысл проверить существенность корреляционной связи, используя отношение коэффициента корреляции к его средней квадратической ошибке (Δ). Полученные значения Δ для всех факторов X_i значительно выше трех, и это подтверждает существенность их связи с результирующей переменной. Для фиктивной переменной значение Δ меньше трех, поэтому влияние этой переменной на результирующую следует признать статистически незначимым. Следовательно, изменения факторов в зависимости от календарного года можно считать несущественными для рассматриваемой зависимости.

Таблица 3 - Анализ коэффициентов корреляции

Факторы (ресурсы)		Коэффициент корреляции r_{yx_i}	t-критерий коэффициента корреляции	Δ
X_1	Площадь пашни, га	0,72	19,3	30,3
X_2	Количество техники (тракторы, комбайны и грузовые автомобили), шт.	0,63	15,3	22,5
X_3	Затраты на приобретение ТСМ, тыс.руб.	0,88	34,6	65,8
X_4	Затраты на приобретение запасных частей, тыс.руб.	0,84	29,1	47,4
X_5	Затраты на приобретение семян, удобрений и прочих материалов, оплату услуг сторонних организаций, тыс.руб.	0,84	29,5	47,2
X_6	Количество работников в хозяйстве, чел.	0,58	13,4	19,3
D	Фиктивная переменная	0,16	2,9	2,9

Производственная функция, полученная после исключения из расчетов фиктивной переменной, имеет вид [16]:

$$Y = 5,74 \cdot X_1^{0,083} \cdot X_2^{0,176} \cdot X_3^{0,338} \cdot X_4^{0,166} \cdot X_5^{0,28} \cdot X_6^{0,03} \quad (19)$$

Коэффициент множественной корреляции составил R=0,94. Расчетное значение критерия Фишера Fэмп=456 (таблица 4), а табличное - Fкр=2,89. Так как Fэмп > Fкр, можно утверждать, что коэффициент множественной корреляции статистически значим (значимость F-критерия 0,000), и совокупное влияние рассмотренных факторов производства на результирующую переменную существенно. Коэффициент детерминации R^2=0,89, то есть 89% вариаций объясняются факторами, включенными в уравнение регрессии. Значения t-критерия для коэффициентов полученной зависимости показывает, что все они статистически значимы, то есть взаимосвязь этих факторов с результирующей переменной является существенной.

Таблица 4- Оценка коэффициентов производственной функции

Факторы (ресурсы)		Коэффициент уравнения регрессии b_i	t-критерий	Весомость фактора, %
X_1	Площадь пашни, га	0,083	1,8	7,7
X_2	Количество техники (тракторы, комбайны и грузовые автомобили), шт.	0,176	2,2	16,4
X_3	Затраты на приобретение ТСМ, тыс.руб.	0,338	11,0	31,5
X_4	Затраты на приобретение запасных частей, тыс.руб.	0,166	6,0	15,5
X_5	Затраты на приобретение семян, удобрений и прочих материалов, оплату услуг сторонних организаций, тыс.руб.	0,28	12,4	26,1
X_6	Количество работников в хозяйстве, чел.	0,03	0,3	2,8
	Свободный член уравнения	5,74	13,1	
	Коэффициент детерминации (R^2)	0,89		
	Критерий Фишера (F)	456		

Наименее значимым - уровень значимости (вероятность ошибки) α=0,4 - является коэффициент при факторе X_6 (количество работников в хозяйстве). Остальные оценки коэффициентов функции существенно отличны от нуля (на уровне α=0,01 и ниже).

Наиболее эластичным является фактор X_3 (затраты на приобретение топливно-смазочных материалов) – увеличение его на 1% приведет к увеличению результирующего фактора на 0,338%, наименее эластичен ресурс X_6 (количество работников).

Заключение. В результате проведенных расчетов установлено, во-первых, что все коэффициенты производственной функции положительные, сумма их составляет 1,073, что означает возрастающий эффект масштаба. Во-вторых, если принять эту сумму за 100%, то можно утверждать, что весомость влияния на увеличение валовой выручки от реализации сельскохозяйственной продукции таких факторов как обеспеченность техникой (X_2) и топливно-смазочными материалами (X_3) составляет в общей сложности 47,9%. Следовательно, именно эти два фактора в настоящее время во многом предопределяют итоги деятельности фермерских хозяйств.

Список литературы

1. Сазонов С.Н. Трудовое крестьянское и предпринимательское фермерское хозяйства// Международный сельскохозяйственный журнал. – 1996. -№6.-С.24-26

2. Сазонов С.Н. Организационно-экономические и технические проблемы развития крестьянских (фермерских) хозяйств -Воронеж: ВГАУ, 1997. -С.203

3. Сазонов С.Н. Социально-экономические аспекты развития фермерского движения в России//АПК: экономика, управление.- 1995. - №5. -С.55-61

4. Земцова В.М. и др. Повышать доходы крестьянских хозяйств // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. -1996. -№ 4. - С. 36-40

5. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Техническое оснащение как фактор восстановления фермерских хозяйств/ //Механизация и электрификация сельского хозяйства. -2010. -№5. - С.24-26.

6. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Результаты мониторинга фермерских хозяйств. –Тамбов, 2005. -114 с.

7. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н Влияние приоритетного национального проекта «Развитие АПК» на результаты деятельности фермерских хозяйств. –Тамбов, 2008. 130 с.

8. Остриков В.В. и др. Актуальные проблемы повышения эффективности использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной технике // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -2013. -№ 1. -С. 30-32.

9. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Совершенствование механизма кредитования фермерских хозяйств //Никоновские чтения. - 2011.-№ 16. -С. 349-352.

10. Попова О.Н. и др. Оснащенность фермерских хозяйств техникой // Наука в центральной России. - 2013. -№ 5. -С. 4-11.

11. Калюжный М.С. и др. Потенциал кластерного развития Тамбовского региона в контексте европейских кластерных инициатив // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. -2015. -№ 1. -С. 49-56.

12. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Итоги деятельности фермерских хозяйств Тамбовской области//Наука в центральной России. - 2016. -№5. -С.44-54

13. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Организационно-правовая структура фермерского землепользования//Наука в центральной России. -2014. -№5. -С.38-47

14. Анализ хозяйственной деятельности крестьянских хозяйств / Сазонов С.Н. и др. - Москва, 1995. - 32 с.

15. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Производственно-экономическая результативность деятельности крестьянских хозяйств//АПК: экономика, управление. – 1997. - № 3. - с.59-63

16. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Оптимальные параметры ресурсного обеспечения фермерских хозяйств с учетом их аллокативной эффективности // Наука в центральной России. – 2017. - №3 (27). – с.87-95

References

1. Sazonov S.N. Trudovoe krest'janskoe i predprinimatel'skoe fer-merskoe hozjajstva//Mezhdunarodnyj sel'skohozjajstvennyj zhurnal. – 1996. -№6.-S.24-26

2. Sazonov S.N. Organizacionno-jekonomicheskie i tehnicheskie pro-blemy razvitija krest'janskih (fermerskih) hozjajstv -Voronezh: VGAU, 1997. -S.203

3. Sazonov S.N. Social'no-jekonomicheskie aspekty razvitija fermer-skogo dvizhenija v Rossii//APK: jekonomika, upravlenie.- 1995. - №5. -S.55-61

4. Zemcova V.M. i dr. Povyshat' dohody krest'janskih hozjajstv // Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predprijatij. -1996. -№ 4. - S. 36-40

5. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Tehnicheskoe osnashhenie kak faktor vos-stanovlenija fermerskih hozjajstv/ //Mehanizacija i jelektrifikacija sel'-skogo hozjajstva. -2010. -№5. -S.24-26.

6. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Rezul'taty monitoringa fermerskih hozjajstv. –Tambov, 2005. -114 s.

7. Sazonova D.D., Sazonov S.N Vlijanie prioritetnogo nacional'nogo proekta "Razvitie APK" na rezul'taty dejatel'nosti fermerskih hozjajstv.–Tambov, 2008. 130 s.

8. Ostrikov V.V. i dr. Aktual'nye problemy povyshenija jeffektivno-sti ispol'zovanija nefteproduktov v sel'skohozjajstvennoj tehnike // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. -2013. -№ 1. -S. 30-32.

9. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Sovershenstvovanie mehanizma kredi-tovanija fermerskih hozjajstv //Nikonovskie chtenija.-2011.-№ 16. -S. 349-352.

10. Popova O.N. i dr. Osnashhennost' fermerskih hozjajstv tehnikoj // Nauka v central'noj Rossii. - 2013. -№ 5. -S. 4-11.

11. Kaljuzhnyj M.S. i dr. Potencial klasternogo razvitija Tambovsko-go regiona v kontekste evropejskih klasternyh iniciativ // Vestnik Michu-rinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2015. -№ 1. -S. 49-56.

12. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Itogi dejatel'nosti fermerskih ho-zjajstv Tambovskoj oblasti//Nauka v central'noj Rossii.-2016.-№5. -S.44-54

13. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Organizacionno-pravovaja struktura fermerskogo zemlepol'zovanija//Nauka v central'noj Rossii. -2014. -№5. -S.38-47

14. Analiz hozjajstvennoj dejatel'nosti krest'janskih hozjajstv / Sazonov S.N. i dr. - Moskva, 1995.- 32 s.

15. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Proizvodstvenno-jekonomicheskaja re-zul'tativnost' dejatel'nosti krest'janskih hozjajstv//APK: jekonomika, upravlenie. – 1997. - № 3. - s.59-63

16.Sazonova D.D., Sazonov S.N. Optimal'nye parametry resursnogo obespechenija fermerskih hozjajstv s uchetom ih allokativnoj jeffektivnosti // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. - №3 (27). – s.87-95

УДК 631.303

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНОСМЕСЕЙ

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

Реферат. *Представлена систематизация способов и средств управления процессами триерной очистки зерносмесей по пяти целевым функциям. Дан анализ возможности реализации различных способов управления технологическим процессом очистки зерна ячеистыми поверхностями по состоянию современного научного обеспечения этих решений. Установлено, что большинство рассмотренных способов управления качеством технологического процесса триерной очистки зерносмесей требуют конструктивной доработки триерных блоков. Существующие триерные блоки не сбалансированы по выделению длинных и коротких примесей из зерносмесей. Создан специальный стенд, который позволяет исследовать динамику выделения компонентов зерносмеси по длине ячеистой поверхности. Предложено в качестве перспективного направления использовать для снижения производительности овсюжного цилиндра с целью сбалансирования триерного блока по качеству процессов угловое удаление верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно зоны циркуляции слоев зерносмеси в сегменте. Установлено, что в диапазоне изменения производительности овсюжного цилиндра – 1,1…3,2 т/ч среднеквадратическое отклонение производительности составляет 2,5…15,3 кг/ч при коэффициенте вариации 0,15…0,50%. Выявлено, что изменения радиального зазора между верхней кромкой передней стенки выводного лотка и ячеистым цилиндром не существенно*

влияет на изменения производительности овсюжного цилиндра. При скорости вращения ячеистого цилиндра 35 об/мин и подаче зерносмеси в ячеистый цилиндр 3,2 т/ч изменение зазора в диапазоне 10…28 мм обеспечивало повышение производительности лишь на 3,2…4%.

Ключевые слова. *Триерный блок, овсюжный цилиндр, управление производительностью, настройка параметров, неравномерность, коэффициент вариации.*

THE ANALYSIS OF THE METHODS OF QUALITY MANAGEMENT SCREENING OF GRAIN MIXTURES

Tishaninov Nikolay,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Anashkin Alexander,
candidate of technical Sciences, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov

Abstract. *The systematization of methods and means for controlling the screening of grain mixtures according to 5 target functions is presented. The analysis of the feasibility of implementing various methods for controlling the technological process of grain cleaning by cellular surfaces according to the state of modern scientific support for these solutions is given. It is established that most of the methods considered for controlling the quality of the technological process of triere cleaning of grain mixtures require the structural modification of the triere units. Existing triere blocks are not balanced by the allocation of long and short impurities from grain mixtures. A special stand that allows you to explore the dynamics of the separation of the components of the grain mixture along the length of the cellular surface is created. It has been proposed as a promising direction to use to reduce the productivity of the ovium cylinder in order to balance the triere block in quality of the processes by angular removal of the upper edge of the front wall of the output tray relative to the circulation zone of the grain mixture in the segment. It is established that the standard deviation of productivity is 2.5 ... 15.3 kg / h with a coefficient of variation of 0.15 ... 0.50% in the range of variation in the productivity of the oviparous cylinder is 1.1 ... 3.2 t / h. It was found that changes in the radial clearance between the upper edge of the front wall of the output tray and the mesh cylinder did not significantly affect the performance of the cylinder for separating long impurities. With a rotation speed of 35 rpm of the mesh cylinder and feeding of grain into the mesh cylinder 3.2 t / h, a change in the clearance in the range 10 - 28 mm provided an increase in productivity by only 3.2 - 4%.*

Keywords. *Triere block, cylinder separating impurities long, capacity control, parameter adjustment, unevenness, coefficient of variation.*

Введение. Существующие триерные блоки не сбалансированы по качеству технологических операций, которые они осуществляют – выделение длинных и коротких примесей из зерносмесей. Выделение длинных примесей из зерносмесей является более простой технологической операцией, так как с ячеистой поверхностью контактирует весь слой сегмента зерносмеси. Выделение коротких примесей из зерносмеси представляет собой более сложную задачу по следующим причинам: короткие примеси должны проникнуть через ряд слоев основной культуры в контактирующий слой; короткие примесные частицы, особенно семена сорняков, имеют многократно меньшую насыпную плотность в сравнении с основной

культурой; легкие примесные частицы склонны «всплывать» в массе основной культуры от динамического воздействия на зерносмесь; короткие примесные частицы имеют больший угол внутреннего трения. По этим причинам кукольные цилиндры триерных блоков не обеспечивают сопоставимый уровень качества технологического процесса в сравнении с овсюжным цилиндром. Поиск решений по устранению этого недостатка является актуальной задачей.

Методы и средства. В работе использовались основы теории триеров, разработанные частные методики исследований ячеистой поверхности, специальные стенды и измерительные приборы.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 системно представлены способы и средства управления процессами триерной очистки зерносмесей, обеспечивающие повышение сбалансированности протекания технологических процессов в триерных блоках по качественным показателям. Возможные решения по обеспечению сбалансированности процессов триерных блоков должны соответствовать следующим целевым функциям: снижению потерь основной культуры; снижению остаточной засоренности зерносмеси; повышению степени выделения коротких примесей; повышению производительности триерного блока в целом; снижению затрат на модернизацию.

Ранее известные и новые варианты решений [1-4] по достижению целевых функций заключаются в следующем: сокращении рабочей длины овсюжного цилиндра; блокировании доступа зерна в лоток на части его длины; возврате зерна из лотка через днище на определенной части его длины; настройке триерного блока на снижение производительности овсюжного цилиндра; увеличении ячеистой поверхности кукольных цилиндров.

Нужно отметить, что сбалансирование технологических процессов в триерных блоках за счет снижения подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр без компенсирующих мер не обеспечивает достижения целевых функций. При снижении подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр в работу включается только часть длины ячеистой поверхности, а выделяемые сходом длинные частицы поступают на свободную ячеистую поверхность. Обладая связностью, они захватываются ячеями и направляются в отводной лоток, снижая качество технологического процесса по показателю остаточной засоренности зерносмеси длинными примесями. Кроме того, снижение подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр ухудшает основной эксплутационно-технологический показатель работы триерного блока – производительность.

Первые четыре варианта решений по достижению целевых функций также снижают производительность триерного блока и имеют ряд технических сложностей в их реализации. Сокращение рабочей длины овсюжного цилиндра возможно за счет использования гладких вставок определенной длины внутрь цилиндра и за счет опережения подачи зерносмеси с использованием питателей и транспортеров.

Применение гладких вставок имеет следующие недостатки: оно требует существенного конструктивного вмешательства; удорожает конструкцию и снижает техническую надежность; повышает трудоемкость настройки и требует сменных гладких поверхностей. Применение питателей и транспортеров для обеспечения опережения подачи зерносмесей в овсюжный цилиндр также содержит в себе ряд существенных недостатков: значительно ухудшаются условия компоновки технологического оборудования зерноочистительных агрегатов; требуются дополнительные затраты; ухудшается управляемость технологических процессов при изменении концентрации и физико-механических свойств примесных

компонентов зерносмеси.

Рисунок 1 – Способы и средства управления процессами триерной очистки зерносмесей

Блокирование доступа зерна в лоток на части его длины может быть реализовано с использованием следующих технических решений: сменными крышками лотка; сменными козырьками на передней стенке лотка; раздвижными крышками; раздвижными козырьками. Первые два варианта технических решений требует высокой трудоемкости разборо-сборочных работ для замены конструктивных элементов при изменении составов и свойств зерносмеси. Вторые два конструктивных элемента ограничивают диапазон управления технологических процессом.

Ограничение производительности овсюжного цилиндра триерного блока за счет возврата зерна из лотка через днище на определенной части его длины предполагает использование двух конструктивных решений: наличие регулируемой щели в днище лотка на части его длины; наличие передвижного окна в днище лотка. Недостатками этих конструктивных решений являются: снижение диапазона регулирования технологического процесса; ограниченная доступность управляемых элементов; повышение степени травмирования зерновок основной культуры шнековым рабочим органом при взаимодействии с кромками щели или окна.

Возможности настройки триерного блока на снижение производительности овсюжного цилиндра заключаются в следующем: снижении скорости вращения овсюжного цилиндра; увеличении угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка; увеличении угла наклона овсюжного цилиндра. Первый и третий варианты настройки требуют конструктивного вмешательства в существующие решения и дополнительных затрат. Снижение производительности ухудшает эксплуатационно-технологический показатель – два отрицательных эффекта. Возможность реализации второго варианта настройки требует

дополнительных исследований на стабильность процесса.

Пятый вариант решения потенциально соответствует четырем первым целевым функциям совершенствования процесса триерной очистки зерносмесей и не требует затрат на модернизацию при управлении процессом. Увеличение ячеистой поверхности для выделения коротких примесей может быть реализовано за счет: увеличения диаметра цилиндра; увеличения длины цилиндра; увеличения числа кукольных цилиндров в триерном блоке.

Первый подвариант представляется менее продуктивным, так как в стандартных кукольных цилиндрах не существует недостатка ячей в цикле очистки относительно количества примесных частиц, находящихся в контактирующем слое. Второй подвариант ухудшает условия компоновки технологического оборудования в существующих зерноочистительных технологиях. Наиболее предпочтительным является третий вариант, когда в один триерный блок может быть включено один овсюжный цилиндр и несколько (два или три) кукольных цилиндров. Но это решение сложно реализовать в существующих объемно-планировочных решениях отечественных зерноочистительных агрегатов.

Комплексная оценка вариантов решений по составам положительных и отрицательных эффектов может быть представлена уравнениями:

$$П_1 = a_{11} / П_{ок} + a_{12} / З_{оз} + a_{13} / C_{вк} - a_{14} / W_э - a_{15} / З_м; \quad (1)$$

$$П_2 = a_{21} / П_{ок} + a_{22} / З_{оз} + a_{23} / C_{вк} - a_{24} / W_э - a_{25} / З_м; \quad (2)$$

$$П_3 = a_{31} / П_{ок} + a_{32} / З_{оз} + a_{33} / C_{вк} - a_{34} / W_э - a_{35} / З_м; \quad (3)$$

$$П_4 = a_{41} / П_{ок} + a_{42} / З_{оз} + a_{43} / C_{вк} - a_{44} / W_э - a_{45} / З_м; \quad (4)$$

$$П_5 = a_{51} / П_{ок} + a_{52} / З_{оз} + a5_{13} / C_{вк} + a_{54} / W_э; \quad (5)$$

где $П_1 - П_5$ - интегральные показатели пяти вариантов решений; a_{ij} - коэффициенты весомости показателей; $П_{ок}$ - показатель потерь основной культуры, %; $З_{оз}$ - остаточная засоренность зерносмеси, %; $C_{вк}$ - степень выделения примесных компонентов, %; $W_э$ - эксплуатационная производительность, т/ч; $З_м$ - затраты на модернизацию, руб.

Реализация варианта настройки овсюжного цилиндра за счет завышения угла подъема ($\gamma_п$) верхней кромки передней стенки выводного лотка или сокращения радиального зазора между ней и ячеистым цилиндром позволила бы исключить отрицательный эффект (α_{45} $З_м$) в уравнении (4) и обеспечить перспективность 4-го способа управления триерной очистки зерносмеси.

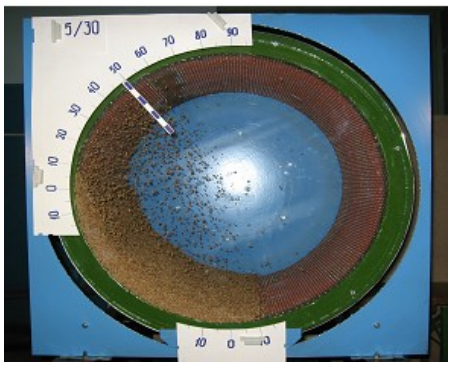
Однако, научного подтверждения такой возможности нет. Из результатов исследований профессора Лурье А.Б. [5] следует, что при подаче в триерный блок 853 кг/ч зерносмеси выход очищенного зерна составляет 609 кг/ч со среднеквадратическим отклонением σ =36 кг/ч при коэффициенте вариации потерь ν = 28%.

По нашему мнению, эти данные, полученные на производственном триерном блоке, исключают эффективность способа управления триерной очисткой зерносмеси за счет регулировки с целью сбалансирования качества процесса в овсюжном и кукольном цилиндрах. В то же время производственный триерный блок не обеспечивает объективной оценки процесса и воспроизводимости условий его протекания.

Для подтверждения применимости 4-го способа управления триерной очистки зерна нами создан специальный стенд [6, 7] (рисунок 2), который позволяет исследовать динамику выделения компонентов зерносмеси по длине ячеистой поверхности. Кроме того, стенд позволяет контролировать размещение верхней кромки передней стенки выводного лотка

относительно зоны циркуляции слоев сегмента, что позволяет снизить неравномерность производительности и потенциальные потери основной культуры.

а)



б)

Рисунок 2 – Стенд для исследований ячеистых поверхностей: а) – общий вид; б) – исследование параметров сегмента зерносмеси через прозрачную стенку

Исследования, выполненные с использованием созданного стенда, позволили установить, что производительность овсюжного ячеистого цилиндра на уровне 1,1 т/ч обеспечивается при скорости вращения ячеистого цилиндра 30 об/мин и угле подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка 40^0. При этом среднеквадратическое отклонение производительности составляло 2,55 кг/ч, а коэффициент вариации не превышал 0,23%. Ячеистая поверхность на конечных участках была недогруженной – вероятность захвата ячеями по одной зерновке основной культуры составляла 23%.

При увеличении производительности за счет числа оборотов ячеистого цилиндра (n = 40 об/мин) и снижения угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка ($\gamma_п = 30^0$) до 3,2 т/ч среднеквадратическое отклонение производительности увеличилось до 4,95 кг/ч, а коэффициент вариации снизился до 0,15%. При этом на начальных интервалах времени выделения зерновок основной культуры каждая из ячей захватывала в среднем по 1,54 зерновки. Эти данные подтверждают применимость 4-го способа управления триерным блоком в широком диапазоне.

Дальнейшее увеличение скорости ячеистого цилиндра до 45 об/мин приводило к увеличению среднеквадратического отклонения производительности до 15,3 кг/ч и коэффициента вариации производительности – до 0,5%.

Оценка возможностей управления процессом триерной очистки зерносмесей изменением зазора между верхней кромкой передней стенки выводного лотка и ячеистым цилиндром позволило установить, что процесс протекает не менее стабильно – вариация производительности составляла 0,37…0,44%. Однако, в диапазоне изменения зазора от 10 до 28 мм производительность ячеистого цилиндра изменялась лишь на 3,2…4%. Этот диапазон расходных характеристик не обеспечивает решение задач сбалансирования загрузки овсюжного и кукольного цилиндров в триерном блоке с целью повышения качества технологического процесса.

Выводы. Большинство рассмотренных способов управления качеством технологического процесса триерной очистки зерносмесей требуют конструктивной доработки триерных блоков и существенных затрат средств. Исключение составляет способ управления процессом за счет настройки рабочих параметров триера по результатам исследований динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси и стабильности расходных характеристик. Наиболее эффективной регулировкой является

изменение углового положения лотка внутри ячеистого цилиндра при условии размещения верхней кромки передней стенки выводного лотка выше зоны циркуляции слоев зерносмеси в сегменте.

Список литературы

1. Патент РФ на полезную модель № 138337. Питатель для триеров / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. - № 2012125935 заявл. 21.06.2012 опубл. 10.03.2014, Бюл. № 7.

2. Патент РФ № 2564872. Триер / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. - № 2014124260/13 заявл. 16.06.2014 опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.

3. Патент РФ № 2564883. Триер / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. - № 2014132318/13 заявл. 05.08.2014 опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.

4. Патент РФ № 2567154. Триер / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. - № 2014142305/13 заявл. 20.10.2014 опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.

5. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: «Машиностроение», 1977. – 526 с.

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

7. Тишанинов Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.

References

1. Patent RF na poleznuyu modelj № 138337. Pitatelj dlya trierov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin. - № 2012125935 zayavl. 21.06.2012 opubl. 10.03.2014, Byul. № 7.

2. Patent RF № 2564872. Trier / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. - № 2014124260/13 zayavl. 16.06.2014 opubl. 10.10.2015, Byul. № 28.

3. Patent RF № 2564883. Trier / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. - № 2014132318/13 zayavl. 05.08.2014 opubl. 10.10.2015, Byul. № 28.

4. Patent RF № 2567154. Trier / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. - № 2014142305/13 zayavl. 20.10.2014 opubl. 10.11.2015, Byul. № 31.

5. Lurje A.B., Grombchevskiyj A.A. Raschet i konstruirovanie seljskokhozyayjstvennihkh mashin. – L.: «Mashinostroenie», 1977. – 526 s.

6. Patent RF № 2616201. Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin - № 2016108182 zayavl. 09.03.2016 opubl. 13.04.2017, Byul. № 11.

7. Tishaninov N.P. Obosnovanie parametrov stenda ciklicheskogo deyjstviya dlya issle-dovaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Aljshinayjiin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2016. – № 4 (22). – S. 90-98.

УДК 631.303

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ГРОХОТА

Тишанинов Константин Николаевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, E-mail: TishaninovKN@lenta.ru

Реферат. *Известно, что эффективность решетной очистки зависит от кинематических параметров грохота. Экспериментально установлено, что с возрастанием*

скорости решета до оптимального значения (предельная скорость грохота), эффективность очистки возрастает линейно до максимума. Дальнейшее увеличение скорости решета приводит к тому, что эффективность решетной очистки резко падает. Известно также теоретическое понятие о критической скорости зерна, превышение которой ведет к тому, что зерно пролетает над отверстием, не успевая в него запасть. Установлено отсутствие связи между критической скоростью зерна и предельной скоростью грохота, так как нельзя во время эксперимента измерить скорость движения отдельных частиц потока. Показано, что критическая скорость зерна определяется размером отверстия решета (конструктивные параметры грохота) и размером частицы потока зерна (параметры зернового вороха), значение предельной скорости грохота определяется эмпирически. Установлено, что критическая скорость зерна и предельная скорость грохота представляют собой частные случаи (максимальные значения) скоростей зерна и грохота соответственно. Чтобы связать два понятия (теоретическое и эмпирическое) исследуется взаимосвязь между скоростью зерна и скоростью грохота с помощью дифференциальных уравнений М.Н. Летошнева для гармонический колебаний решета. Установленная взаимосвязь проверяется с помощью компьютерной модели грохота, которая может учитывать размеры отдельных зерен; измерять их положение, скорость в любой момент времени. В результате теоретических исследований и компьютерного моделирования получена зависимость, которая учитывает взаимосвязь кинематических и конструктивных параметров грохота, параметры зерна (размеры, вид культуры, угол динамического трения и др.), и при малых загрузках решета и на небольшом участке его длины достаточно точно определяет предельную скорость грохота.

Ключевые слова: *предельная скорость грохота, критическая скорость зерна, компьютерное моделирование, процесс сепарации зерна.*

THEORETICAL JUSTIFICATION FOR THE SPEED LIMIT OF THE SCREEN

Tishaninov Konstantin
candidate of technical Sciences, senior researcher, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture», Tambov,
E-mail: TishaninovKN@lenta.ru

Abstract. *It is known that the cleaning efficiency of the sieve depends on the kinematic parameters of the screen. It has been experimentally established that with increasing sieve velocity to the optimum value (limiting speed of the screen), the cleaning efficiency increases linearly to a maximum. A further increase in the sieve velocity results in the fact that the efficiency of the lattice cleaning sharply decreases. There is also a theoretical notion of the critical speed of grain, the excess of which leads to the fact that the grain flies over the hole, without having time to stock it. The absence of a connection between the critical grain speed and the limiting speed of the screen is established, since the velocity of the individual particles of the flow can not be measured during the experiment. It is shown that the critical grain velocity is determined by the size of the sieve hole (structural parameters of the screen) and the particle size of the grain flow (parameters of the grain heap), the value of the limiting speed of the screen is determined empirically. It has been established that the critical grain velocity and the limiting speed of the screen are special cases (maximum values) of grain speeds and screening, respectively. The relationship between grain speed and screen speed using differential equations Letoshneva for harmonic vibrations of the sieve is investigated to relate two concepts (theoretical and empirical). The established relationship is verified using a computer*

screening model that can take into account the dimensions of individual grains; measure their position, speed at any time. As a result of theoretical studies and computer simulation, a dependence was obtained that takes into account the relationship between the kinematic and structural parameters of the screen, the parameters of the grain (dimensions, type of culture, the angle of dynamic friction, etc.), and for small sieve loads and a small section of its length determines the limiting speed of the screen.

Keywords: *limit the speed of the crash, the critical speed of the grain, computer modelling, process of separation.*

Введение. Интенсифицировать процесс решетной сепарации зерна можно подобрав оптимальный кинематический режим работы грохота. Кинематический режим грохота определяется следующими его параметрами: скоростью грохота, углом наклона решета, углом оси колебаний грохота, углом трения между решетом и зерном и др. Поиск оптимального набора этих параметров осложняется разными исходными параметрами вороха: геометрическими размерами зерновок, дисперсией размеров, видом культуры и др. Геометрические параметры зерна и отверстий решета определяют критическую скорость зерна. Чтобы связать кинематические, конструктивные параметры решета и параметры исходного вороха, необходимо исследовать взаимосвязь между критической скоростью зерна и предельной скоростью грохота. Выбор оптимальной скорости решета на основе выявленных взаимосвязей позволит повысить эффективность решетной очистки, что говорит об актуальности решаемой задачи.

Цель исследований - теоретическое обоснование предельной скорости грохота.

Материалы и методы. В данной работе используются: формула для нахождения критической скорости зерна В.П. Горячкина, дифференциальные уравнения М.Н. Летошнева для гармонический колебаний решета, экспериментальные данные Г.Д. Терскова, В.С. Быкова и компьютерная модель грохота.

Результаты и обсуждение. Академик В.П. Горячкин ввел понятие о критической скорости движения зерна по решету, превышение которой приводит к тому, что частица проскакивает отверстие, не успевая в него запасть. Критическая скорость зависит от размеров зерновки, отверстия и кинематики решета (Рисунок 1).

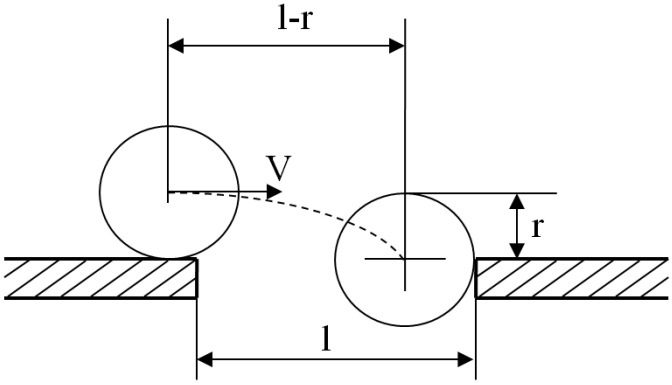


Рисунок 1 – схема для определения средней скорости

Для определения критической скорости ($V_{кр}$) воспользуемся следующим неравенством (1):

$$V_{кр}\, t \le l - r, \qquad (1)$$

причем:

$$r = \frac{1}{2} g t^2, \tag{2}$$

где t – время просеивания, с.

Следовательно, значение критической скорости ($V_{кр}$) можно найти из неравенства (3):

$$V_{кр} \le (l - r)\sqrt{\frac{g}{2r}}, \tag{3}$$

В дальнейшем формула (3) была уточнена многими учеными: П.М. Василенко, В.И. Ильченко, В.Я. Беляцким, В.М. Цециновским, Г.Д. Терсковым, И.И. Василенко, Ю.М. Трофимченко, В.А. Кириченко, Б.Д. Зоновым, А.Н. Тараном, Н.А. Филатовым, Г.З. Файбушевичем, П.М. Заикой, А.В. Миняйло, В.И. Ильиченко, Л.Б. Левенсоном, М.Н. Богомоловым, В.В. Гортинским, Н.А. Смирновой. Они дополнили формулу В.П. Горячкина, введя в нее такие понятия, как сопротивление среды, наклон решета, опережающее или отстающее движение решета, воздействие вышележащего слоя, эллиптическую форму зерна, цилиндричность поверхности решета, скорость и ускорение вибрационного грохота, направленность колебаний, запас кинетической энергии частицы, углы падения и отражения частицы. Эти формулы дают расчетное значение для критической скорости несколько большое, чем аналогичное значение у В.П. Горячкина. Поэтому для простоты и повышения точности расчета критической скорости формулу В.П. Горячкина можно модифицировать следующим образом (4):

$$V_{кр} \le K_{Г}(l - r)\sqrt{\frac{g}{2r}}, \tag{4}$$

где $K_{Г}$ – поправочный коэффициент к формуле В.П. Горячкина, который найден опытным путем ($K_{Г} \approx 1{,}2 \ldots 1{,}4$).

Экспериментальные данные Быкова В.С. [1] показывают следующую зависимость между эффективностью решетной очистки и скоростью грохота (Рисунок 2).

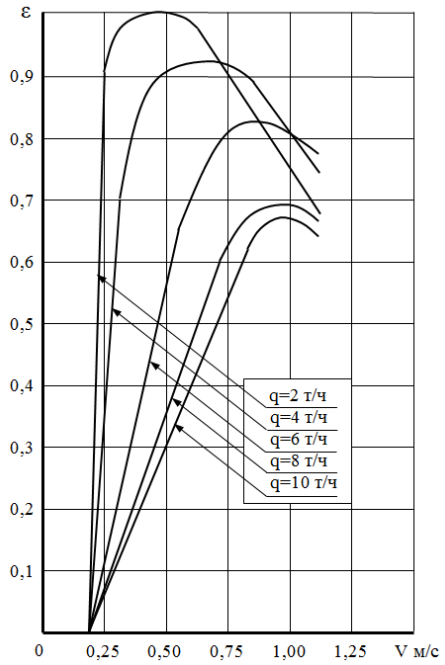


Рисунок 2 – зависимость эффективности решетной очистки (ε) от скорости решета (V) при разных удельных нагрузках (q)

Чтобы связать критическую скорость зерна ($V_{кр}$) и предельной скоростью решета ($V_{пр}$) воспользуемся уравнениями М.Н. Летошнева [3]. Для правых интервалов времени, когда сила инерции направлена в сторону движения зернового материала по решету:

$$\frac{1}{\delta}V_з(t) = V_Г(t) - gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)},$$

или

$$V_з(t) = \delta V_Г(t) - \delta gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}. \quad (5)$$

Для левых интервалов времени, когда сила инерции направлена в сторону, противоположную движению зернового материала по решету:

$$\frac{1}{\delta}V_з(t) = V_Г(t) - gt\,\frac{\sin(\alpha-\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha-\varphi)},$$

или

$$V_з(t) = \delta V_Г(t) - \delta gt\,\frac{\sin(\alpha-\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha-\varphi)}, \quad (6)$$

где $V_з$ – относительная скорость движения зерна по решету, м/с; $V_Г$ – скорость движения грохота, м/с; α – угол наклона плоскости, град; ε – угол, определяющий ось колебаний грохота, град; φ – угол трения, град;

$$\delta = \frac{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}{\cos(\varphi)}.$$

Как видно из формул (5) и (6) относительная скорость зерна ($V_з$) и скорость грохота ($V_Г$) связаны линейно. Предельную скорость решета можно найти как:

$$V_{пр} = \omega r.$$

Тогда относительную скорость зерна ($V_з$) для правых интервалов можно найти как:

$$V_з(t) = \delta V_{пр}\sin(\omega t) - \delta gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}, \quad (7)$$

или

$$\frac{1}{\delta}V_з(t) = V_{пр}\sin(\omega t) - gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}. \quad (8)$$

Найдем максимум функции $V_з(t)$ графическим методом. Функция $\frac{1}{\delta}V_з$ представляет разность двух функций: синусоиды скорости решета $V_{пр}\sin(\omega t)$ и прямой $gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}$. Очевидно, что угол наклона (β) прямой $gt\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}$ можно найти как $tg(\beta) = g\,\frac{\sin(\alpha+\varphi)}{\cos(\varepsilon+\alpha+\varphi)}$. Максимум функции $V_з(t)$ определяет величину $V_{кр}$, которую можно найти из условия:

$$\frac{\frac{1}{\delta}dV_з(t)}{dt} = 0.$$

Следовательно

$$\frac{d\,(V_{пр}\,\sin(\,\omega t\,)}{dt} - g\,\frac{\sin(\,\alpha\,+\,\varphi\,)}{\cos(\,\varepsilon\,+\,\alpha\,+\,\varphi\,)} = 0\,. \qquad (9)$$

В момент времени t_1, когда функция $V_э(t)$ принимает максимальное значение ($V_э(t_1) = V_{кр}$), производная от синусоиды скорости решета представляет собой касательную с углом наклона β_1:

$$tg\,(\beta_1) = \frac{d\,(V_{пр}\,\sin(\,\omega t\,)}{dt}. \qquad (10)$$

Учитывая выражения (9) и (10), получим:

$$tg\,(\beta_1) = g\,\frac{\sin(\,\alpha\,+\,\varphi\,)}{\cos(\,\varepsilon\,+\,\alpha\,+\,\varphi\,)} = tg\,(\beta\,)$$

Для левых интервалов времени аналогично получим:

$$tg\,(\gamma\,) = g\,\frac{\sin(\,\alpha\,-\,\varphi\,)}{\cos(\,\varepsilon\,+\,\alpha\,-\,\varphi\,)}.$$

Графически, величину $V'_{кр}$ можно выразить следующим образом (Рисунок 3).

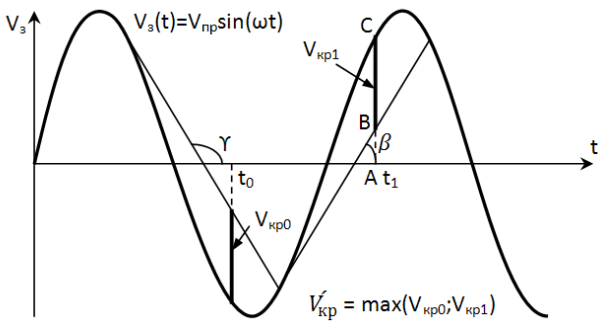


Рисунок 3 – график скорости движения грохота

Как видно на рисунке 3:

$$V'_{кр} = AC - AB\,,$$

причем

$$AC < V_{пр}\,,\; AC \approx (0{,}8 \ldots 0{,}9)\cdot V_{пр}\,,$$

$$AB \approx (0{,}3 \ldots 0{,}55)\cdot V_{кр}\,.$$

Следовательно:

$$(1{,}3 \ldots 1{,}55)\cdot V'_{кр} = (0{,}8 \ldots 0{,}9)\cdot V_{пр}\,,$$

или

$$V'_{кр} = (0{,}5 \ldots 0{,}7)\cdot V_{пр}\,.$$

Тогда

$$V_{кр} \approx \delta\cdot K_{кр}\cdot V_{пр}\,, \qquad (11)$$

где $K_{кр}$ - коэффициент соответствия предельной и критической скоростей, $K_{кр} \approx 0{,}5 \ldots 0{,}7$.

Линейную зависимость между скоростью зерна и скоростью решета подтверждают исследования Г.Д. Терскова [2, стр. 289]. Как видно на рисунке 4 – для разных решет и культур коэффициент соответствия предельной скорости грохота и критической скорости зерна одинаковый (угол наклона прямых одинаковый), но начальное значение критической скорости $V_{кр}$ (при $V_{пр}$ =0) будет разным для различных культур. Для более точного расчета формулу (11) можно модифицировать следующим образом:

$$V_{кр} \approx \delta \cdot K_{кр} \cdot V_{пр} + C_{кр}, \qquad (12)$$

где $C_{кр}$ – коэффициент, определяющий начальное значение критической скорости (зависит от вида культуры, динамического угла трения (ρ) и др.), $C_{кр} \approx -0,05 \ldots 0,2$ м/с.

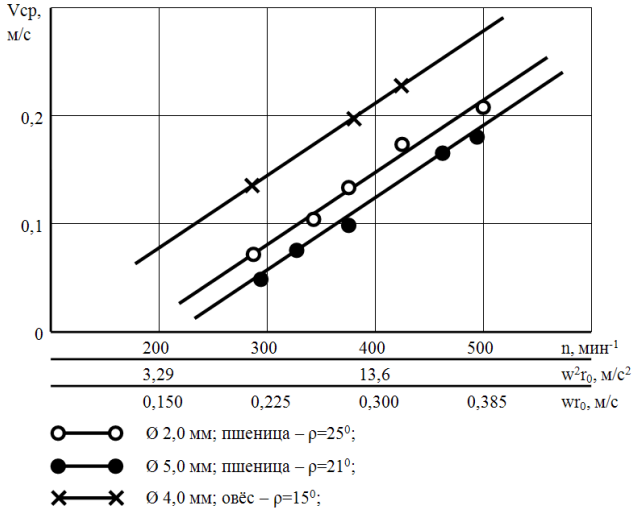


Рисунок 4 – зависимость средней скорости зерна от частоты, скорости и ускорения грохота

Следовательно, конструктивные параметры решета можно связать с кинематическими следующим образом:

$$K_{Г}(l - r)\sqrt{\frac{g}{2r}} \geq \delta \cdot K_{кр} \cdot V_{пр} + C_{кр}, \qquad (13)$$

или

$$V_{пр} \leq \frac{K_{Г}(l - r)\sqrt{\frac{g}{2r}} - C_{кр}}{\delta \cdot K_{кр}}. \qquad (14)$$

Для более точного определения взаимосвязи между критической скоростью зерна и предельной скоростью грохота воспользуемся методами компьютерного моделирования [4]. Дело в том, что в эксперименте нельзя современными способами и методами измерить критическую скорость зерна внутри потока. Многие авторы [7, 8, 9] пытались описать движение частицы зерна по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин методами математического аппарата, тем не менее, практического применения такое описание (системы дифференциальных уравнений) не имеет.

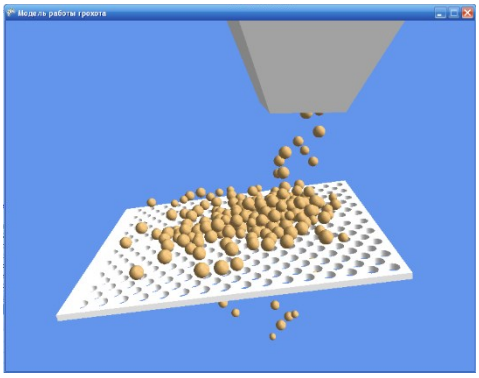


Рисунок 5 – компьютерная модель работы грохота

Математический аппарат позволяет описать движение отдельной частицы с учетом сил трения, реакции опоры, сопротивления среды, но не может описать движение частицы внутри потока зерна. Компьютерная модель же позволяет не только имитировать движение и взаимодействие частиц потока, но также измерять перемещение, скорость, ускорение любой отдельной частицы внутри потока зерна. За основу компьютерной модели была принята абстрактная модель потока зерна [5], которая была доработана алгоритмами взаимодействия частиц потока с движущейся поверхностью грохота (Рисунок 5).

Данная компьютерная модель имитирует работу грохота и позволяет установить искомые зависимости (взаимосвязь между предельной скоростью грохота и критической скоростью решета).

Под максимальной скоростью зерна имели в виду среднеарифметическое значение максимальных положительных (направленных в сторону движения зерна) скоростей отдельных зерен.

$$V_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \max(V_i(t))}{n}, \qquad (15)$$

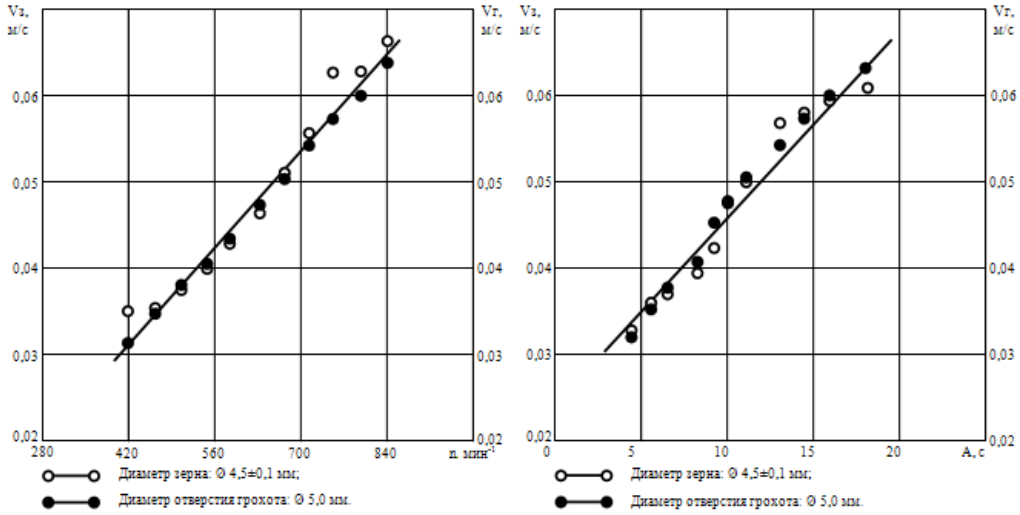
где n – количество зерен в опыте.

Для определения взаимосвязи между максимальной скоростью зерна и максимальной скоростью грохота проводили серию виртуальных экспериментов. В первой серии экспериментов изменяли скорость грохота в диапазоне от 0,031 до 0,063 м/с за счет изменение частоты колебаний. Во второй серии экспериментов изменяли скорость грохота в том же диапазоне, но за счет изменения амплитуды колебаний. В рассматриваемом случае под линейным размером понимается приведенная к системе СИ величина, вычисленная согласно принципу геометрического подобия зерен виртуальных и реальных. В обоих случаях вычисляли максимальную скорость зерна по формуле (15). Результаты виртуальных экспериментов показаны на рисунке 6.

Как видно из рисунка 6, максимальная скорость зерна и максимальная скорость грохота связаны между собой линейно (независимо от способа ее изменения (n или A)). Следовательно, критическая скорость зерна и предельная величина скорости грохота должны быть связаны между собой линейно, так как они являются частным случаем максимальных скоростей зерна и грохота.

Компьютерное моделирование показало, что расчетное значение предельной скорости грохота попадает лишь в один из экстремумов функции (Рисунок 7), определяющий зависимость степени выделения зерна от скорости движения грохота. При дальнейшем увеличение скорости грохота степень выделения продолжает расти. Это объясняется тем, что

при равной подаче зерна на поверхность движущегося грохота, увеличение скорости движения грохота приводит к более равномерному рассыпанию зерна по поверхности грохота, тем самым увеличивая вероятность прохождения зерна через поверхность движущегося грохота.



а) б)

Рисунок 6 – модельные зависимости максимальных скоростей зерна и грохота от частоты (а) и амплитуды колебаний (б) грохота

Рисунок 7 – зависимость степени выделения зерна от скорости движения грохота (получена с помощью компьютерной модели)

К аналогичным выводам пришел Быкова В.С. [1]. По его данным предельная скорость грохота линейно возрастает с изменением подачи зерна на решето, поэтому удельную нагрузку необходимо включить в формулу для расчета предельной скорости. Формула для расчета предельной скорости грохота будет выглядеть следующим образом:

$$V_{пр} \le \frac{K_{Г}(l-r)\sqrt{\frac{g}{2r}} - C_{кр}}{\delta \cdot K_{кр}} + (K_{П} q - C_{П}). \qquad (16)$$

где $K_{Г}$ – поправочный коэффициент к формуле В.П. Горячкина, который установлен опытным путем ($K_{Г} \approx 1,2 \ldots 1,4$); l – диаметр круглого отверстия, мм; r - радиус

шарообразного зерна, мм; $\delta = \frac{\cos(\varepsilon + \alpha + \varphi)}{\cos(\varphi)}$; α – угол наклона плоскости, град; ε – угол, определяющий ось колебаний грохота, град; φ – угол трения, град; $K_{кр}$ - коэффициент соответствия предельной и критической скоростей, $K_{кр} \approx 0,5...0,7$. $C_{кр}$ – коэффициент, определяющий начальное значение критической скорости (зависит от вида культуры, динамического угла трения (ρ) и др.), $C_{кр} \approx -0,05...0,2$ м/с; $K_{П}$ – коэффициент соответствия предельной скорости и удельной подачи, $K_{П} \approx 0,2...0,3$ м^3/кг; $C_{П}$ - коэффициент, определяющий начальное значение предельной скорости, м/с.

Выводы. В результате теоретических исследований и компьютерного моделирования было установлено, что максимальные скорости зерна и грохота связаны между собой линейно. Но между критической скоростью зерна и предельной скоростью грохота есть взаимосвязь только при небольшой загрузке решета и на небольшом участке его длины. Поэтому теоретическое утверждение о том, что эффективность решетной очистки ограничивается скоростью грохота, при которой отдельная частица успевает западать в отверстие решета, не является достаточно точной и требует дальнейшего изучения. Полученная нами зависимость, которая учитывает взаимосвязь кинематических и конструктивных параметров грохота, параметры зерна (размеры, вид культуры, угол динамического трения и др.) при малых загрузках решета и на небольшом участке его длины достаточно точно определяет предельную скорость грохота.

Список литературы

1. Быков В.С. Интенсификация процесса сепарации зерновых смесей на плоских качающихся решетах //Дис. канд. техн. наук. Воронеж, 1991.

2. Быков В.С. Повышение эффективности процесса сепарирования зерновых смесей на плоских качающихся решетах //Дис. док.техн. наук. Воронеж, 1999.

3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. – М; Л., 1955.

4. Тишанинов К.Н. Компьютерная модель работы грохота // Наука в центральной России. -2016. №5(23), с.4…13.

5. Тишанинов К.Н. Теория взаимодействия частиц потока зерна // Наука в центральной России. – 2015. №1(13), с.76…87.

6. Заика П.М. Теоретическое и экспериментальное исследование вибрационной зерноочистительной машины с пространственным движением рабочего органа // Автореферат дис. канд. техн. наук. Харьков, 1992.

7. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев, 1960.

8. Теленгатор М.А., Уколов В.С., Цециновский В.М. Обработка семян зерновых культур. Москва, 1972.

9. Заика П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин. Москва, 1977.

References

1. Bykov V. S. intensification of the process of separation of grain mixtures on a flat swinging sieve // Dis. Cand. tech. Sciences. Voronezh, 1991.

2. Bykov V. S. Increase of efficiency of process of separation of grain mixtures on a flat swinging sieve // Dis. Doc. tech. Sciences. Voronezh, 1999.

3. Letoshnev M. N. Agricultural machines. – M; L., 1955.

4. Tishaninova K. N. A computer model of the operation of the screen // Science in the Central Russia. -2016. No. 5(23), p. 4...13.

5. Tishaninova K. N. Theory of interaction of particles of grain flow, Science in Central Russia. – 2015. №1(13), S. 76...87.

6. Zaika P. M. Theoretical and experimental study of vibrating grain cleaning machine with a spatial movement of the working body // abstract dis. Cand. tech. Sciences.Kharkov, 1992.

7. Vasilenko, P. M. Theory of the motion of particles on rough surfaces agricultural machines. Kiev, 1960.

8. Delegator M. A., Ukolov V. S., V. M. Racinowski Treatment of seeds of grain crops. Moscow, 1972.

9. Zaika P. M. the Dynamics of a vibratory grain cleaning machines. Moscow, 1977.

УДК 631.303

ОБОСНОВАНИЕ ДЛИНЫ ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕГКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ

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

Реферат. *Изучены физико-механические свойства легких примесей зерновых культур, широко распространенных в большинстве регионов России. Разработано стендовое оборудование для исследований динамики выделения легких коротких примесей из зерносмесей. Предложен алгоритм расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения этих примесей на основе результатов исследований с использованием разработанного стендового оборудования. Установлено, что при исходной засоренности зерносмеси семенами тысячелистника равной 0,8%, степень их выделения на уровне 62,9% достигается за 150 с, а эквивалентная длина ячеистой поверхности в 7,2 раза превышает длину стандартного кукольного цилиндра. При той же продолжительности процесса степень выделения стеблей осота полевого составляет 77,7%. Короткие частицы соломы выделяются с большей интенсивностью – степень выделения на уровне 89,3% обеспечивается за 50 с, что сокращает эквивалентную длину ячеистого цилиндра. Семена борщевика в 1,62 раза выделяются с меньшей динамикой, чем короткие частицы соломы. Семена щавеля являются самым легким примесным компонентом, но обладают самым большим углом внутреннего трения, однако они лучше выделяются, чем семена тысячелистника – степень выделения в 77,3% достигается за 130 с. На основе результатов исследований даны предложения по корректировке эквивалентных длин ячеистых поверхностей с учетом фактического уровня исходной засоренности и существующих требований к качеству процесса.*

Ключевые слова*. Легкие примеси, разделение зерносмесей, продолжительность процесса, степень выделения, остаточная засоренность, ячеистый цилиндр, качество.*

THE RATIONALE FOR THE LENGTH OF THE CELLULAR SURFACE FOR SEPARATION OF LIGHT IMPURITIES FROM MIXTURES OF GRAINS

Tishaninov Nikolay,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, Tambov
Anashkin Alexander,
candidate of technical Sciences, , e-mail: av-anashkin@mail.ru
Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov

Abstract. *The physical and mechanical properties of light impurities of cereals widely distributed in most regions of Russia are studied. Stand equipment for studying the dynamics of selection of short light impurities from grain mixtures is developed. An algorithm for calculating the equivalent length of a cellular surface for the isolation of these impurities based on the results of studies using the developed bench equipment is proposed. It was found that at the initial weediness of the grain mixture with yarrow seeds equal to 0.8%, the degree of their isolation at the level of 62.9% is achieved in 150 seconds, and the equivalent length of the cellular surface is 7.2 times the length of the standard puppet cylinder. The degree of allocation of stems of the field sow is 77.7% for the same duration of the process. Short straw particles are released with greater intensity - the release rate of 89.3% is provided in 50 seconds, which reduces the equivalent length of the mesh cylinder. The seeds of the cow-bream are distinguished with a smaller dynamics 1.62 times than short particles of straw.Seeds of sorrel are the lightest impurity component, but they have the largest angle of internal friction, however they are better isolated than the yarrow seeds - the degree of allocation in 77.3% is reached in 130 s. Proposals for adjusting the equivalent lengths of cellular surfaces, taking into account the actual level of initial weediness and existing requirements for the quality of the process, were based on the results of studies.*

Keywords. *Light impurities, separation of grain mixtures, process duration, degree of excretion, residual contamination, cellular cylinder, quality.*

Введение. Тысячелистник, борщевик и щавель широко распространены в большинстве регионов России. При уборке зерновых их семена попадают в бункерное зерно. Частицы стеблей осота полевого и соломы являются естественными примесными компонентами в зерносмесях. По насыпной плотности эти примесные компоненты многократно уступают основной культуре. Они обладают малыми скоростями витания и большая их часть выделяется из зерносмеси аспирацинной системой зерноочистительных агрегатов, но возможности существующих аспирационных систем позволяют выделить только 80% легких примесей – остальные перевалочной норией подаются в триерные блоки. Из-за низкой насыпной плотности и значительных углов внутреннего трения эти компоненты в циркулирующем слое зерносмеси при пропуске её через триерные блоки всплывают, поэтому они относятся к трудноотделяемым примесям. Исследования по выделению легких примесей из зерносмеси отсутствуют, что сдерживает модернизацию триерных блоков, к которым предъявляются высокие требования к качеству технологического процесса, что определяет актуальность результатов исследований, представленных в статье.

Методы и средства. В работе использовались основные положения теории триеров, частные методики исследований ячеистых поверхностей, разработанное стендовое оборудование и приборы.

Результаты и обсуждение. Физико-механические свойства исследуемых компонентов зерносмесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства компонентов зерносмесей

№ п/п	Наименование	Насыпная плотность, кг/м^2	Размеры, мм			Угол внутреннего трения, град	Влажность, %	Масса 1000 (частиц семян), г
			Длина	Ширина	Толщина			
1	Тысячелистник (семена) соцветия	6,48	4,21	2,8	2,8	37,3	15,1	2,4
2	Стебли осота полевого	158,2	3,36	4,15	2,07	34,1	14,3	5,7
3	Семена щавеля	91,7	3,46	3,2	3,2	42,0	17,3	2,1
4	Солома (резаная)	96,7	3,1	3,02	1,63	37,9	12,0	–
5	Семена борщевика	197,4	5,0	3,28	0,51	37,1	16,0	2,5
6	Пшеница (зерно)	805	7,25	3,35	3,07	24,8	12,04	52,6

В кукольных цилиндрах короткие примесные частицы не имеют постоянного контакта с ячеистой поверхностью. Поэтому эффективность их выделения существенно зависит от скорости осаждения в слое основной культуры. Исследуемые примесные компоненты многократно ниже по насыпной плотности и обладают существенно большим поверхностным трением в сравнении с основной культурой. Поэтому они осаждаются при циркуляции слоев основной культуры хуже других компонентов [1, 2], что увеличивает продолжительность процесса разделения зерносмесей.

Физико-механические свойства семян тысячелистника предопределяли высокую продолжительность процесса их выделения из зерносмеси. Поэтому в каждом опыте использовалось по 30 емкостей-отборников проб, сменяемых через 5 с. Таким образом, продолжительность выделения примесного компонента специальными стендами [3…7] составляла 150 с, что эквивалентно с учетом времени разгона ячеистого цилиндра 122 циклам выделения. Динамика выделения семян тысячелистника из зерносмеси представлена на рисунке 1.

Анализ динамики выделения семян тысячелистника из зерносмеси указывает на противоположный вектор их сегрегации в слое основной культуры – склонность к «всплытию».

Самая высокая интенсивность выделения приходится на 2-й интервал времени, но долевое выделение в нем составляет лишь 24%, что 2,5 раза ниже в сравнении с легко выделяемыми частицами. В последующих интервалах времени процесс характеризуется значительной вариацией выделенных масс примеси.

За 122 цикла степень выделения составила С = 62,9%. Средний уровень выделения за последние 26 интервалов составил 1,01% на интервал. Поэтому, экстраполируя расчетную интенсивность выделения на последующий период, можно ожидать, что сопоставимую степень выделения С = 98% семян тысячелистника можно обеспечить за 65 интервалов времени по 5 с (268 циклов).

Для средней скорости осевого смещения сегмента зерносмеси V_c = 0,05 м/с расчетная длина кукольного цилиндра, обеспечивающего сопоставимую с другими (легковыделяемыми) примесными компонентами степень выделения С = 98% составит: L_p = 0,05 х 65 х 5 = 16,25 м. Это в 7,2 раза больше, чем рабочая длина стандартного цилиндра, что подтверждает

трудновыделяемость легких («всплывающих» - с обратным вектором сегрегации в слое основной культуры) частиц и несбалансированность последовательных звеньев технологического процесса триерной очистки по качественным показателям с использованием стандартных триерных блоков.

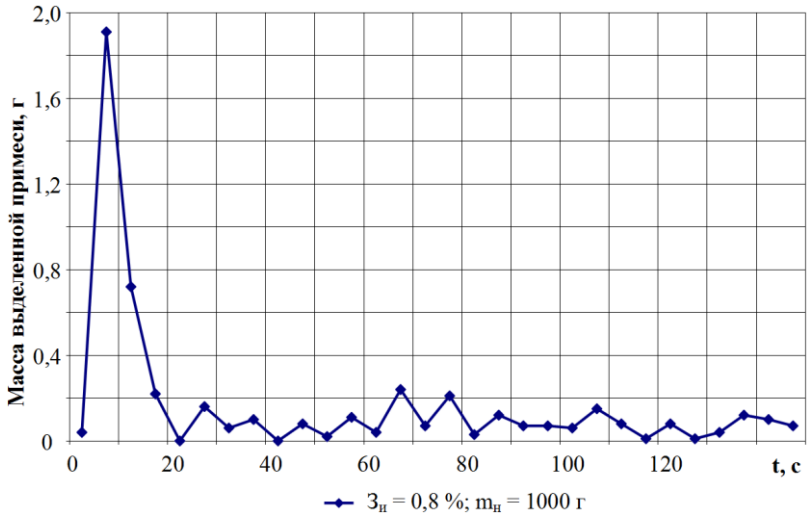


Рисунок 1 – Динамика разделения зерносмеси "пшеница - семена тысячелистника"

За 30 интервалов времени выделения примеси захвачено ячеями и направлено в лоток 5,58 зерновок пшеницы при С = 62,9%. При увеличении продолжительности процесса до 65 интервалов с целью достижения сопоставимого уровня С = 98% в лотке следует ожидать 12,1 г зерновок пшеницы. Эта величина определяет неизбежный уровень потерь основной культуры – 1,215% при исходной засоренности зерносмеси семенами тысячелистника – 0,8%.

Динамика выделения стеблей осота полевого из пшеницы по 122-ум циклам представлена на рисунке 2. Анализ опытных данных показывает, что процесс протекает более стабильно, чем процесс выделения семян тысячелистника, но интенсивность выделения во втором интервале (17,1%) ниже. Это объясняется вероятностным размещением частиц в ячеях и повышенной их «выедаемостью» контактирующим слоем сегмента зерносмеси.

Степень выделения стеблей осота полевого за 122 цикла составляет 77,7%. Из рисунка 2 видно, что интенсивность выделения примесного компонента стабилизируется после 21 –го интервала времени. За последние 9 интервалов интенсивность в среднем составляет 0,48% за интервал.

Для достижения сопоставимой степени выделения С = 98% потребуется дополнительно:

(98 – 77,7)/0,48 = 42,3 интервала времени.

Всего продолжительность процесса составит 30 + 42,3 = 72,3 интервала времени по 5 с, что эквивалентно рабочей длине кукольного цилиндра при V_c = 0,05 м/с:

L_p = 0,05 х 72,3 х 5 = 18 м.

Это в 8 раз превышает длину стандартного кукольного цилиндра, что подтверждает трудноотделимость примесных компонентов, представляющих собой частицы стеблей сорняков.

За 30 интервалов времени выделения частиц стеблей осота полевого ячеями захвачено и направлено в лоток 7,92 г зерновок пшеницы. За расчетный период времени, обеспечивающий уровень С = 98% в лоток будет направлено (7,92х72,3)/30 = 19,1 г, что соответствует уровню неизбежных потерь основной культуры в процессе триерной очистки – 1,91%, если примесный

компонент эквивалентен по своим свойствам и интенсивности выделения стеблям осота полевого при $З_и$ = 1%.

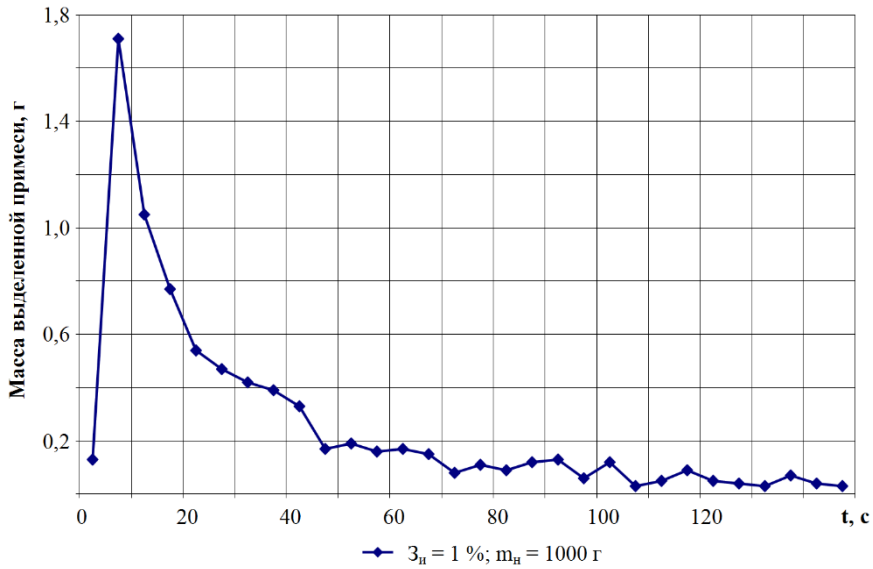


Рисунок 2-Динамика разделения зерносмеси "пшеница - стебли осота полевого"

Динамика выделения частиц соломы из пшеницы представлена на рисунке 3.

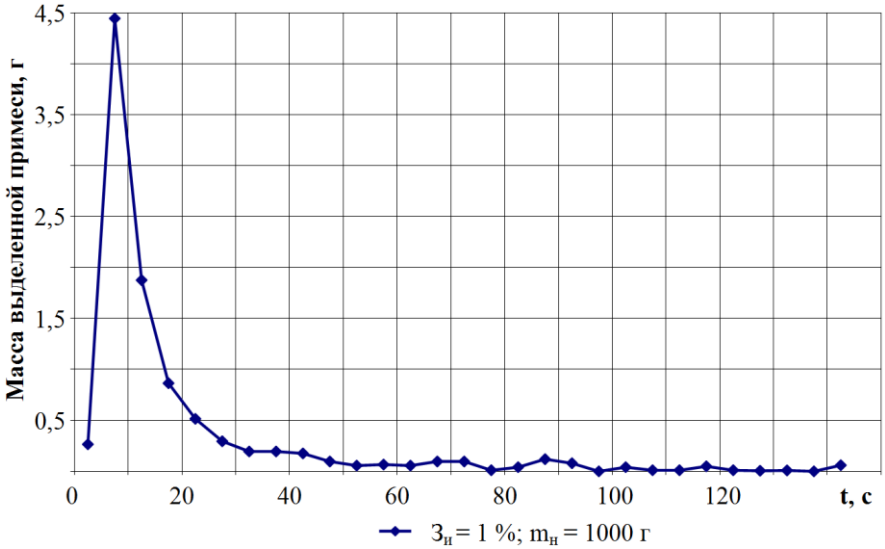


Рисунок 3 − Динамика выделения частиц соломы из пшеницы

Анализ представленной динамики показывает, что сопоставимый уровень степени выделения примесного компонента С = 97,4% обеспечивается за 29 интервалов времени по 5 с при эквивалентной длине ячеистого цилиндра 7,25 м.

Наибольшая интенсивность выделения приходится на 2-ой интервал времени – 44,4%. Далее интенсивность выделения непрерывно убывает с незначительной вариацией выделенных масс. Интенсивность выделения во 2-ом интервале в 1,5…1,6 раз ниже, чем интенсивность выделения проса, семян горчицы и сорго /1,2/.

При аналогичной продолжительности процесса степень выделения семян борщевика составила 84,95%, а семена щавеля до степени выделения 87,3% удалены из зерносмеси за 50 интервалов времени по 5 с – на 67% с меньшей интенсивностью. Эквивалентные длины ячеистой поверхности для выделения этих примесных компонентов составили 11,75 и 19,6 м

соответственно.

Реальная длина рабочей поверхности ячеистых цилиндров для выделения коротких частиц из зерносмесей должна рассчитываться из условия достаточности по разработанному нами алгоритму, рисунок 4.

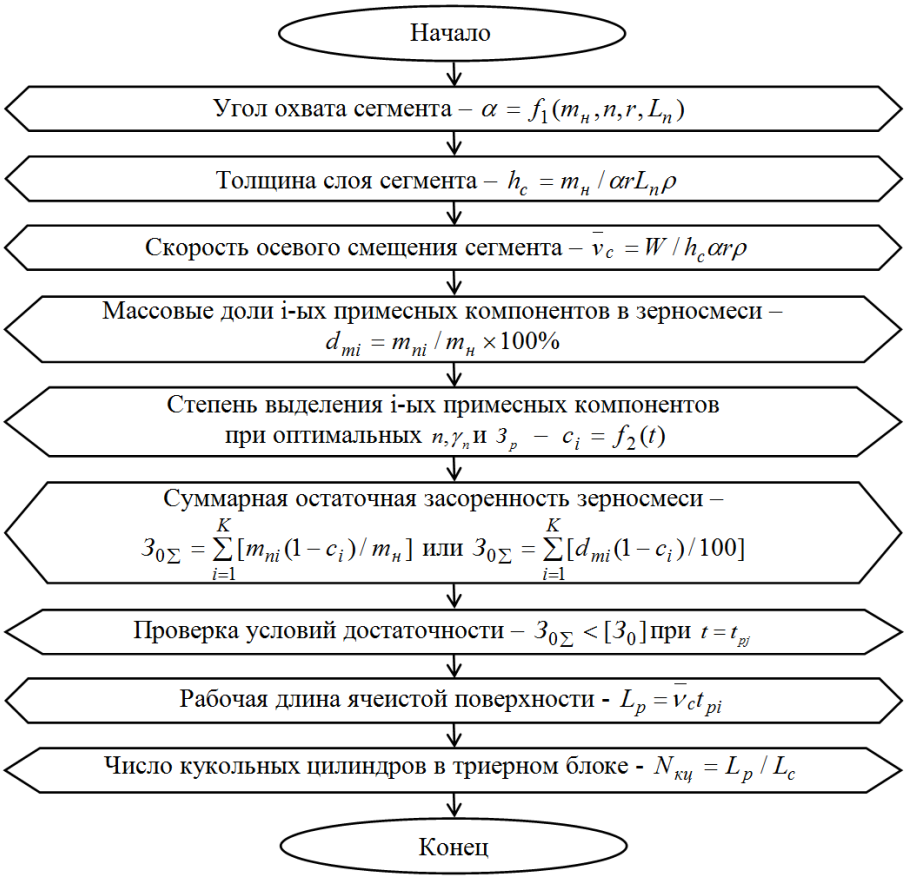


Рисунок 4 – Схема алгоритма расчета необходимой длины ячеистой поверхности

α - угол охвата сегмента, рад; $m_н$ - величина навески зерносмеси внутри ячеистого цилиндра, кг; n - скорость вращения ячеистого цилиндра, об/мин; r, L_n - радиус и длина ячеистого цилиндра, м; ρ - насыпная плотность зерносмеси, кг/м^3; m_{ni} - масса i-го примесного компонента в навеске, кг; d_{mi} - долевое содержание i-го примесного компонента в зерносмеси, %; γ_n - угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка, град; $З_p$ - зазор между верхней кромкой передней стенки лотка и ячеистым цилиндром, мм; c_i - степень выделения i-го примесного компонента, %; $З_{0\Sigma}$ - суммарная остаточная засоренность зерносмеси, %; $[З_0]$ - регламентная остаточная засоренность зерносмеси, %; t_{pi} - j-ое расчетное время очистки зерносмеси, с; L_p - расчетная длина ячеистой поверхности, м; L_c - длина стандартного ячеистого цилиндра, м; $N_{кц}$ - число кукольных ячеистых цилиндров в триерном блоке.

Выводы. Продолжительность выделения легких примесей из зерносмесей и рабочая длина ячеистой поверхности для реализации этого процесса в 3…8 раз превышают возможности существующих триерных блоков при обеспечении степени выделения на уровне 98%. Однако, расчет длины ячеистой поверхности необходимо производить с учетом их реального содержания в зерносмеси, возможностей его понижения аспирационной системой и из условия достаточности по предложенному алгоритму.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. - № 6. – С. 37-45.

2. Тишанинов Н.П. Результаты поисковых исследований прибора для разделения зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин// Наука в центральной России. – 2016. - № 5 (23). – С. 37-44.

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

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

5. Патент РФ № 2616201 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей. / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – Заявка № 2016108182 от 09.03.2016. Опубл. 13.04.2017. Бюл. № 11.

6. Тишанинов Н.П. Обоснование режимов работы и параметров прибора для рассева проб зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 3 (21). – С. 74-80.

7. Тишанинов Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.

References

1. Tishaninov N.P. Rezuljtatih issledovaniyj processa triernoyj separacii zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2013. - № 6. – S. 37-45.

2. Tishaninov N.P. Rezuljtatih poiskovihkh issledovaniyj pribora dlya razdeleniya zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin// Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2016. - № 5 (23). – S. 37-44.

3. Patent RF №2492940. Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, A.G. Ameljyanc, M.A. Tishaninov, K.A. Rastyushevskiyj. - №2012112301/03 zayavl. 29.03.2012 opubl. 20.09.2013, Byul. №26.

4. Patent RF №2492941. Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.G. Ameljyanc, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov, K.A. Rastyushevskiyj. - № 2012113207/03 zayavl. 04.04.2012 opubl. 20.09.2013, Byul. №26.

5. Patent RF № 2616201 Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj. / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – Zayavka № 2016108182 ot 09.03.2016. Opubl. 13.04.2017. Byul. № 11.

6. Tishaninov N.P. Obosnovanie rezhimov rabotih i parametrov pribora dlya rasseva prob zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Aljshinayjiin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2016. – № 3 (21). – S. 74-80.

7. Tishaninov N.P. Obosnovanie parametrov stenda ciklicheskogo deyjstviya dlya issledovaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Aljshinayjiin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2016. – № 4 (22). – S. 90-98.

УДК 631.017.3:621.181

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ СОИ

Шувалов Анатолий Михайлович,
доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, E-mail: vniiti@mail.ru
Машков Алексей Николаевич,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, E-mail: vniiti@mail.ru
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов

Реферат. *Известно, что зерно сои нельзя скармливать животным без предварительной термической обработки. Причина - содержание в сое антипитательных веществ (6-8% от общего содержания белка), блокирующих пищеварительные ферменты животных. Изучено влияние комбинированного нагрева (сверху ИК-излучателями, снизу электронагревательной поверхностью транспортирующего устройства) на питательные свойства сои. Обоснованы параметры и изготовлен экспериментальный действующий образец установки для комбинированной термической обработки сои производительностью 240 кг/ч. Установка состоит из электронагревательной поверхности вибрационного транспортера, загрузочного бункера, шкафа управления, источников инфракрасного излучения, теплоизолированного бункера для темперирования. Выявлены достоинства комбинированного нагрева: высокая равномерность прогрева по всему объему зерна (±3°С), снижение величины конечной температуры нагрева на 10-20 °С, сокращение времени нагрева на 20-40 с. Дана сравнительная оценка по расходу электроэнергии при использовании комбинированного и инфракрасного нагрева сои установкой УТЗ-4М. Экспериментальными исследованиями установлено, что разогрев сои сорта «Соер» от начальной до конечной температуры при комбинированном обогреве длится* $\tau_к$ *= 50 с, а при нагреве инфракрасными излучателями 70 с, то есть в 1,4 раза больше время нагрева при использовании инфракрасных излучателей. Определено, что использование комбинированного нагрева увеличивает производительность установки в 1,4 раза и сокращает расход энергии на 38,7%, при этом повышается качество обработанного зерна.*

Ключевые слова: *соя, термическая обработка, комбинированный нагрев, инфракрасные излучатели, экономия, электроэнергия.*

WAYS OF DECREASE IN ENERGY CONSUMPTION AT THERMAL TREATMENT OF SOY

Shuvalov Anatoliy,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, laboratory chief, E-mail: vniiti@mail.ru
Mashkov Alexey,
Ph.D. (Technical), Senior Researcher, E-mail: vniiti@mail.ru
FGBNU «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation»

Abstract. *It is known that soybean can not be fed to animals without prior heat treatment. The reason is the content of soy anti-nutrients (6-8% of the total protein content) that block digestive enzymes of animals. Effect of combined heating (top IR emitters below the conveying surface of the electric heating device) on the nutritional properties of soybean was studied. The parameters are*

justified and the experimental operating sample of the unit for combined heat treatment of soybean with a productivity of 240 kg / h is made. The installation consists of an electric heating surface of a vibrating conveyor, a loading hopper, a control cabinet, infrared sources, a thermally insulated hopper for tempering. Advantages of combined heating are revealed: high uniformity of heating throughout the grain volume (± 3 ° C), reduction of the final heating temperature by 10-20 ° C, reduction of the heating time by 20-40 sec. Comparative estimation of electric power consumption with combined and infrared heating of soybeans by installing UTZ-4M is given .With the help of experimental studies, it has been established that the heating of the soybean variety "Soer" from the initial to the final temperature with combined heating lasts 50 s, and when heated by infrared emitters 70 s, that is 1.4 times the heating time when using infrared emitters. It is determined that the use of combined heating increases the capacity of the plant by 1.4 times and reduces the energy consumption by 38.7%, while the quality of the processed grain increases.

Keywords: *soy, heat treatment, the combined heating, infrared radiators, economy, the electric power.*

Введение. До недавнего времени наиболее эффективным способом обработки сои считался инфракрасный нагрев, так как передача теплоты лучистым тепловым потоком более интенсивная. В настоящее время серийно производятся установки для тепловой обработки сои инфракрасными излучателями типа УТЗ-4М. Однако, следует отметить, что односторонний нагрев инфракрасными лучами только сверху приводит к неравномерному прогреву по всей толщине зерна сои. Экспериментальные исследования [1] показали, что разность температур при одностороннем нагреве между верхней и нижней поверхностью достигает до 60 ºС. В результате, чтобы обеспечить снижение уровня антипитательных веществ до нормируемых значений, необходимо проводить нагрев сои до более высокой температуры (140-145 ºС). А неравномерный прогрев сои и поддержание в процессе термообработки высокой температуры приводит к снижению качества [2]. Кроме того, на поддержание повышенной температуры требуется увеличить тепловой поток, а, следовательно и расход электроэнергии.

ФГБНУ ВНИИТиН проведены исследования, обоснованы параметры и изготовлен экспериментальный действующий образец установки для термической обработки сои производительностью 240 кг/ч. Отличительной особенностью ее является то, что применен двухсторонний нагрев сои: сверху инфракрасными лучами, а снизу – нагретой поверхностью желоба вибрационного транспортера от электронагревательных элементов (рисунок 1) [3-6].

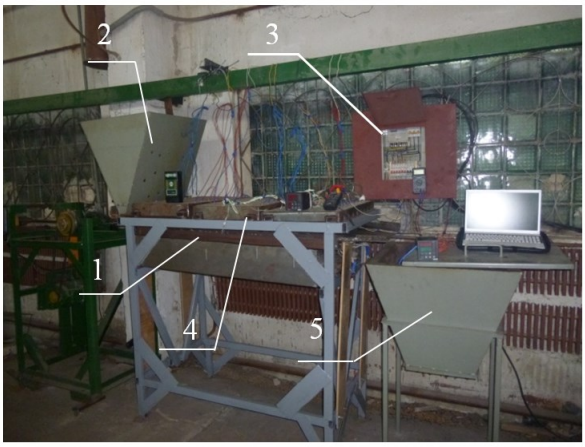


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для комбинированного нагрева зерна сои

Установка состоит из электронагревательной поверхности вибрационного транспортера 1, загрузочного бункера 2, шкафа управления 3, источников инфракрасного излучения 4, теплоизолированного бункера для темперирования 5.

Двухсторонний (комбинированный) нагрев позволяет равномерно по толщине прогревать зерно сои, тепловую обработку проводить при температурах не выше 120…130 ºС, увеличить скорость нагрева до заданной температуры, то есть сократить время обработки. К тому же равномерный прогрев сои и щадящий режим тепловой обработки позволяет повысить ее качество.

Результаты и обсуждение. Проведем сравнительную оценку по расходу электроэнергии при применении на термообработку комбинированного нагрева сои и только инфракрасного нагрева установкой УТЗ-4М.

Полезная составляющая энергии на нагрев зерна определяется по формуле

$$Q_{пол} = m \cdot c \cdot (t_к - t_н),$$

где m – масса обрабатываемого зерна сои, кг (примем равной производительности установки 240 кг/ч); c – теплоемкость зерна сои, кДж; $t_к$ – конечная температура нагретой сои, ºС; $t_н$- начальная (исходная) температура нагретой сои, ºС.

Если разогревать одно и то же количество сои (240 кг) при комбинированном нагреве до 125 ºС, при инфракрасном до 145 ºС, то расход электроэнергии составит:

при комбинированном нагреве

$$Q_к = 240 \cdot 2{,}01 \cdot (125 - 15) = 52800 \text{ кДж} = 14{,}7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

при инфракрасном нагреве

$$Q_{ик} = 240 \cdot 2{,}01 \cdot (145 - 15) = 62400 \text{ кДж} = 17{,}3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Тогда экономия электроэнергии за счет более низкой температуры нагрева сои при комбинированном нагреве составляет Э=2,63 кВт·ч или 15,2 %.

Экспериментальными исследованиями установлено, что разогрев сои сорта «Соер» от начальной до конечной температуры при комбинированном обогреве длится $\tau_к$ = 50 с, а при нагреве инфракрасными излучателями 70 с, то есть в 1,4 раза больше время нагрева при использовании инфракрасных излучателей. Следует отметить, если время термообработки одного и того же количества сои увеличивается в 1,4 раза, то за это увеличенное время происходят излишние теплопотери энергии от кожуха высокотемпературной рабочей камеры в окружающую среду. В этой же пропорции разнится производительность установки: при комбинированном нагреве – 240 кг/ч, при инфракрасном 171 кг/ч (рисунок 2).

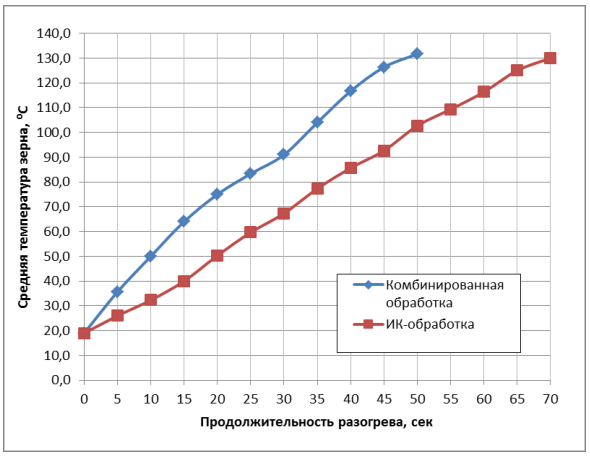


Рисунок 2 – Динамика разогрева ИК-обработкой и комбинированной обработкой при равных мощностях

То есть, если только инфракрасным нагревом проводить термообработку сои, то вместо 240 кг/ч за один час можно обработать лишь 171,4 кг.

Так мощность инфракрасного нагрева установки УТЗ-4М составляет 33 кВт (расход электроэнергии за один час W=33 кВт·ч), то удельный расход энергии

при инфракрасном нагреве

$$W_{ик} = \frac{33}{171,4} = 0,19 \text{ кВт·ч/кг}$$

При комбинированном нагреве

$$W_{к} = \frac{33}{240} = 0,137 \text{ кВт·ч/кг}$$

То есть экономия энергии при термообработки одного килограмма составляет

$$Э_{эл} = W_{ик} - W_{к} = 0,19 - 0,137 = 0,053 \text{ кВт·ч/кг}$$

Экспериментальной установкой термообработки с комбинированным обогревом при двух сменной работе можно обработать 3840 кг в день или 768000 за год. В этом случае экономия энергии от применения термообработки с комбинированным обогревом составит 40704 кВт·ч или 38,7 %

В заключении следует отметить, что экспериментальной установкой термообработки с комбинированным нагревом зерна сои для ППЗ «Орловский» Тамбовского района в 2016 году обработано 5000 кг, которая использовалась хозяйством в качестве добавки в корм для свиней.

Вывод: Применение установки для тепловой обработки сои с комбинированным нагревом позволяет за счет перераспределения тепловых потоков сократить время нагрева, увеличить производительность термообработки, обеспечить равномерный прогрев по всему объему зерна, повысить его качество, сократить расход электроэнергии на 15,2 % за счет снижения верхнего предела температуры нагрева, сократить потери энергии на 37,7 % от кожуха высокотемпературной рабочей камеры за счет уменьшения длительности нагрева.

Список литературы

1. Шувалов, А.М. Перспективы применения комбинированного электронагрева зерна сои для удаления антипитательных веществ. / А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, А.Н. Машков, В.Ф. Калинин. // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3(16). – С. 75–772.

2. Шувалов, А.М. Снижение антипитательных факторов в семенах микронизированной полножирной сои. / А.М. Шувалов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская, Р.К. Милушев, Д.С. Чернов. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. 16-17 мая 2012 года. В 5-ти частях. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. Ч. 2. «Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике». – С. 59-62.

3. Шувалов, А.М. Обоснование параметров саморегулируемой системы энергоподвода к варочным аппаратам. / А.М. Шувалов, К.А. Набатов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов. // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3(16). – С. 72–74.

4. Патент на изобретение №2556899 Российская Федерация. МПК A23B9/02. Устройство для термообработки зерна. / Шувалов А.М., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. - №2014120554, заяв. 21.05.2014; опубл. 20.07.2015. Бюл. №20.

5. Патент на изобретение № 2615004 Российская Федерация. МПК A23L 11/00. Способ обработки полножирных соевых бобов. / Шувалов А.М., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2015153579, заяв. 14.12.2015; опубл. 03.04.2017. Бюл. №10.

References

1. Shuvalov, A.M. Perspektivy primeneniya kombinirovannogo e'lektronagreva zerna soi dlya udaleniya antipitatel'nyx veshhestv. / A.M. Shuvalov, D.S. Chernov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin. // Vestnik VIE'SX. – 2014. – №3(16). – S. 75–772.

2. Shuvalov, A.M. Snizhenie antipitatel'nyx faktorov v semenax mik-ronizirovannoj polnozhirnoj soi. / A.M. Shuvalov, G.M. Shulaev, N.A. Votanovskaya, R.K. Milushev, D.S. Chernov. // E'nergoobespechenie i e'nergosberezhenie v sel'skom xozyajstve: Tr. 8-j Mezhdunar. nauch.-texn. konf. 16-17 maya 2012 goda. V 5-ti chastyax. M.: GNU VIE'SX, 2012. Ch. 2. «E'nergosberegayushhie texnologii v rastenievodstve i mobil'noj e'nergetike». – S. 59-62.

3. Shuvalov, A.M. Obosnovanie parametrov samoreguliruemoj sistemy e'nergopodvoda k varochnym apparatam. / A.M. Shuvalov, K.A. Nabatov, A.N. Mashkov, D.S. Chernov. // Vestnik VIE'SX. – 2014. – №3(16). – S. 72–74.

4. Patent na izobretenie №2556899 Rossijskaya Federaciya. MPK A23V9/02. Ustrojstvo dlya termoobrabotki zerna / Shuvalov A.M., Chernov D.S., Shulaev G.M., Votanovskaya N.A., Mashkov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' GNU VNIITiN Rossel'xozakademii. - №2014120554, zayav. 21.05.2014; opubl. 20.07.2015. Byul. №20.

5. Patent na izobretenie № 2615004 Rossijskaya Federaciya. MPK A23L 11/00.Sposob obrabotki polnozhirnyx soevyx bobov. / Shuvalov A.M., Chernov D.S., Shulaev G.M., Votanovskaya N.A., Mashkov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN. - №2015153579, zayav. 14.12.2015; opubl. 03.04.2017. Byul. №10.

УДК 631.331+631.315.2

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ С ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ С КАТУШКОЙ СЕКЦИОННОГО ТИПА

Щученков Алексей Юрьевич,
аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК»,
E-mail: larushinnp@mail.ru
Ларюшин Николай Петрович
доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», E-mail: larushinnp@mail.ru
Шумаев Василий Викторович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» E-mail: shumaev.vasya@yandex.ru
Родин Александр Сергеевич
аспирант кафедры «Механизация технологических процессов в АПК»,
E-mail: larushinnp@mail.ru
Кирюхина Татьяна Александровна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», E-mail: larushinnp@mail.ru
ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза

Реферат. *Рассматривается решение одной из актуальных проблем посева зерновых культур, как высев семян озимой пшеницы сорта «Бирюза» из высевающего аппарата без пульсации их потока, что оказывает существенное влияние на неравномерность распределения семян по длине рядка и увеличение урожайности возделываемой культуры.*

Исследовали конструктивно-режимные параметры работы высевающих аппаратов сеялки с катушками секционного типа. Результаты полевых исследований обрабатывались с использованием прикладной программы «STATISTIKA Version 6.0». Лабораторно-полевые исследования подтвердили результаты теоретических и лабораторных испытаний. Установлено, что наименьшее значение коэффициента вариации семян, равное 25 % будет наблюдаться при частоте вращения катушки 26 - 30 оборотов в минуту, угле наклона образующей открытого лотка катушки 25 - 27 градусов, диаметре открытого лотка 6 -7 мм. Скорость агрегата должна составлять в этом случае 7 - 9 км/ч. В среднем урожайность зерновой части увеличится на 10 % исходя из литературных источников при соответствующем снижение коэффициента вариации семян озимой пшеницы сорта «Бирюза», полученная при использовании экспериментальных высевающих аппаратов. Годовой экономический эффект при годовой загрузке 120 ч составил 260172 руб. на одну сеялку СЗ-5,4 с экспериментальными высевающими аппаратами. При соблюдении данных условий семена равномерно распределяются по длине рядка, при этом каждое растение получает необходимую площадь питания для его развития в течении всего вегетационного периода, в результате чего повышается урожайность культуры.

***Ключевые слова**: высевающий аппарат, неравномерность высева, семена, секционная катушка.*

FIELD STUDIES OF SEED WITH SOWING MACHINE WITH SECTION TYPE COIL

Shchuchenkov Aleksey,
Graduate student, “Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex”, E-mail: voloigor20@yandex.ru
Larushin Nicolai,
Professor, Head of the Department, “Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex” , E-mail: larushinnp@mail.ru
Shumaev Vasiliy,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, “Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex”, E-mail: shumaev.vasya@yandex.ru
Rodin Alexander,
Graduate student, “Mechanization of technological processes in agrarian and industrial complex” , E-mail: larushinnp@mail.ru
Kiryukhina Tatyana,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, “Basics of designing mechanisms and machines” , E-mail: larushinnp@mail.ru
FSBEE HE «Penza State Agrarian University»

***Abstract**. The solution of one of the actual problems of sowing grain crops, as sowing seeds of the winter wheat of the variety "Turquoise" from the sowing apparatus without pulsation of their flow, is considered, which has a significant effect on the uneven distribution of seeds along the row length and the yield increase of the cultivated crop. The constructive-regime parameters of the operation of the sowing apparatus of the seeder with coils of sectional type were investigated. The results of the field studies were processed using the application program "STATISTIKA Version 6.0". Laboratory and field studies confirmed the results of theoretical and laboratory tests. It has been established that the lowest value of seed variation coefficient, equal to 25%, will be observed at a coil rotation frequency of 26-30 rotations per minute, the angle of the generatrix of the open coil tray*

is 25-27 degrees, the diameter of the open tray is 6-7 mm. The speed of the unit should be 7 - 9 km / h in this case. On average, the yield of the grain part will increase by 10% on the basis of literature sources, with a corresponding decrease in the variation coefficient of the seeds of the winter wheat of the variety "Turquoise" obtained using experimental seeders. The annual economic effect with an annual load of 120 hours was 260172 rubles. For one seeder SZ-5,4 with experimental sowing machines.If these conditions are met, the seeds are evenly distributed along the length of the row, and each plant receives the necessary feeding area for its development throughout the growing season, as a result of which the yield of the crop is increased.

Keywords*: seeding unit, uneven seeding, seeds, sectional coil.*

Введение. Актуальной задачей для АПК является получение высоких урожаев с одновременным снижением себестоимости полученной продукции. Для выполнения этой задачи необходимо иметь эффективную посевную технику, в частности сеялки для посева зерновых культур [1]. В связи с этим при возделывании зерновых культур, является актуальной разработка высевающего аппарата катушечного секционного типа, позволяющего уменьшить неравномерность распределения семян по длине рядка и повысить урожайность возделываемой культуры.

Цель исследования – проверка результатов исследований конструктивно-режимных параметров работы высевающих аппаратов сеялки с катушками секционного типа.

Материалы и методы. В работе использованы материалы ГОСТов для оценки работы сеялок с катушечными высевающими аппаратами секционного типа.

Результаты и обсуждение. Для решения поставленной задачи в Пензенском ГАУ была изготовлена экспериментальная сеялка на базе СЗ-5,4 с высевающими аппаратами секционного типа (рисунок 1) [2-5]. Сеялка состоит из рамы 1, зернотукового ящика 4, маркера 2, прицепного устройства 3, механизма передач 5, опорных колес 6, подножки 7, подставки 9 (рисунок 1). К ящику 4 фиксируются экспериментальные высевающие аппараты 14 с катушками секционного типа (рисунок 2), которые соединены посредством семяпроводов 13 (рисунок 1) к дисковым сошникам 10 с опорно-прикатывающими колесами 8. На раме 1 экспериментальной сеялки установлено приспособление дальнего транспорта 12, унифицированная система контроля 11.

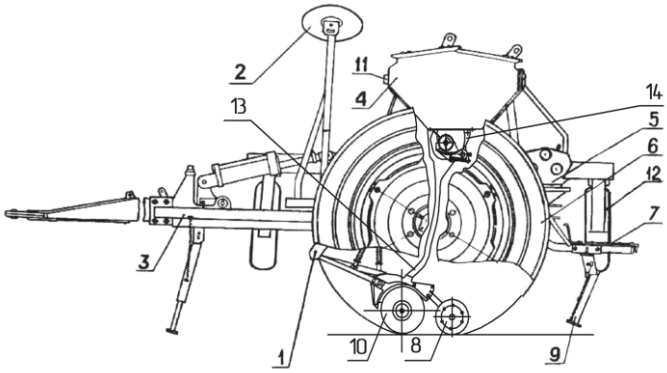
При определении оптимального значения частоты вращения катушки ω, остальные факторы (угол наклона образующей открытого лотка катушки α, диаметр открытого лотка d оставались постоянными, равными оптимальным значениям, полученным в результате проведения лабораторных исследований. При нахождении оптимальных угол наклона образующей открытого лотка катушки и диаметр открытого лотка постоянными оставались, соответственно, такие параметры, как (ω и d) и (ω и α). Скорость агрегата составляла 9 км/ч.

По результатам обработки опытных данных строили графики зависимостей неравномерности распределения семян зерновых культур по длине рядка (коэффициент вариации *ν, %*) от угла наклона образующей открытого лотка катушки α, диаметр открытого лотка d и частоты вращения катушки ω, которые приведены на рисунке 3.

Корреляционная связь между величиной показателя неравномерности распределения семян *(ν,%)* и частоты вращения катушки ω, выражается уравнением параболической функции:

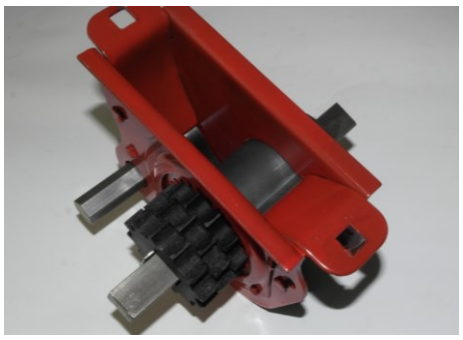
$$\nu(\omega) = 0{,}8179\,\omega^2 - 4{,}5993\,\omega + 31{,}66, \qquad (1)$$

при этом индекс корреляции $R^2 = 0{,}8965$.



1 – рама; 2 – маркер; 3 – прицепное устройство; 4 – ящик зернотуковый; 5 – механизмы передач; 6 – колесо; 7 – подножка; 8 – опорно-прикатывающее колесо сошника; 9 – подставка; 10 – дисковый сошник; 11 – унифицированная система контроля; 12 – приспособление дальнего транспорта; 13 – семяпровод; 14 – экспериментальный высевающий аппарат с катушкой секционного типа

Рисунок 1 – Схема экспериментальной сеялки СЗ – 5,4 с высевающими аппаратами секционного типа



а

Б

Рисунок 2 – Экспериментальный высевающий аппарат с катушкой секционного типа (а), общий вид сеялки СЗ-5,4 с экспериментальными высевающими аппаратами на поле (б)

Связь между неравномерностью распределения семян по длине рядка (ν,%) и угла наклона образующей открытого лотка катушки α, град, отображается уравнением параболической функции:

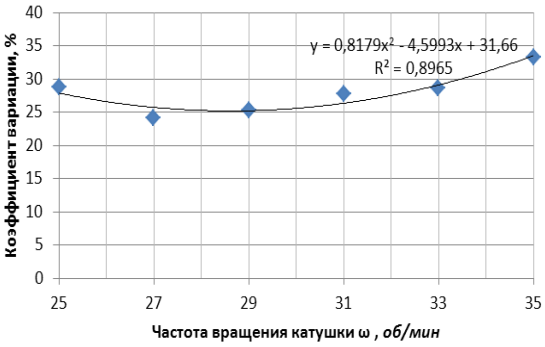
$$\nu(\alpha) = 0{,}8732\,\alpha^2 - 7{,}3296\,\alpha + 42{,}41, \qquad (2)$$

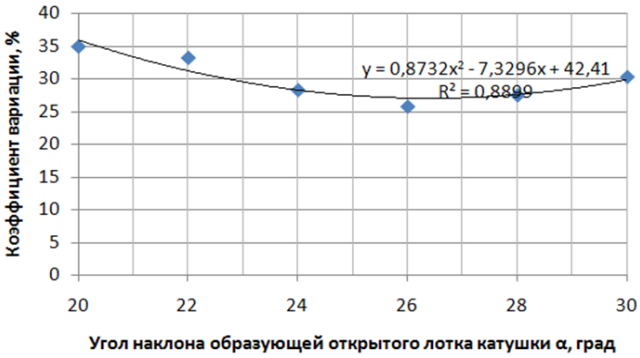
с индексом корреляции R^2=0,8899.

Уравнением параболической функции описывается зависимость показателя неравномерности распределения семян по длине рядка *(ν,%)* от диаметра открытого лотка d:

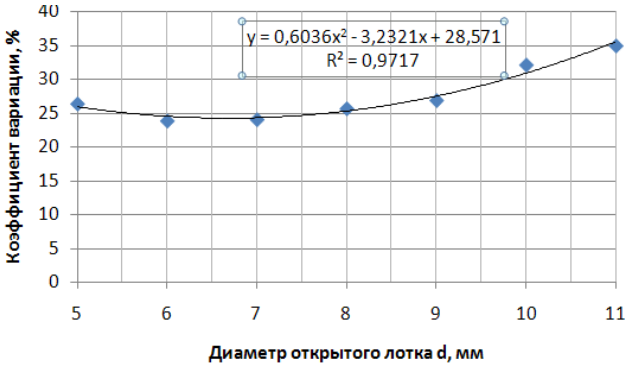
$$\nu(d) = 0{,}6036\,d^2 - 3{,}2321\,d + 28{,}571, \qquad (3)$$

индекс корреляции R^2=0,9717.





А Б



В

Рисунок 3 – Графики зависимости равномерности распределения семян зерновых культур (ν) по длине рядка от частоты вращения катушки (а) ω, угла наклона образующей открытого лотка катушки α (б), диаметра открытого лотка, d. (в)

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что частота вращения катушки ω, оказывает значительное влияние на неравномерность распределения семян зерновых культур по длине рядка. Оптимальное значение частоты вращения катушки ω можно принять из интервала от 26 до 30 об/мин., при этом коэффициент вариации ν= 25…26%. При увеличении частота вращения катушки ω свыше 30 об/мин коэффициент вариации быстро увеличивается.

По данным полевых исследований, оптимальный угол наклона образующей открытого лотка катушки α должна быть в пределах от 25 до 27 град, что соответствует коэффициенту вариации ν= 25…26%. При уменьшении или увеличении угол наклона образующей открытого лотка катушки наблюдается увеличение коэффициента вариации. Наилучшие значения равномерности распределения семян зерновых культур получили от диаметра открытого лотка 6…7 мм, при этом коэффициент вариации ν находится в пределах ν= 24…25%. Большее или меньшее значение приводит к нарушению технологического процесса высева семян.

При исследовании влияния скорости движения агрегата на равномерность распределения семян зерновых культур по длине рядка частота вращения катушки ω, угол наклона образующей открытого лотка катушки α, диаметр открытого лотка *d* оставались постоянными, равными оптимальным значениям: 28 об/мин, 26 град., 7 мм соответственно.

Корреляционная связь между показателем равномерности распределения семян зерновых культур по площади рассева (ν,%) и скоростью движения агрегата V (км/ч) выражается зависимостью:

$$\nu(V)= 0,5883V^2 -9,3714 V + 61,449, \quad (4)$$

при индексе корреляции R^2=0,9835.

Анализируя полученные результаты, изображенные в виде зависимости ν(V) (рисунок 4), можно сделать вывод о целесообразности применения зерновой сеялки с исследуемыми высевающими аппаратами для подпочвенно-разбросного посева семян зерновых культур в диапазоне 7…9 км/ч, так как скорость не оказывает значительного влияния на равномерность распределения семян зерновых культур по длине рядка. Данная скорость соответствует 6…7 передачи трактора МТЗ-80/82.

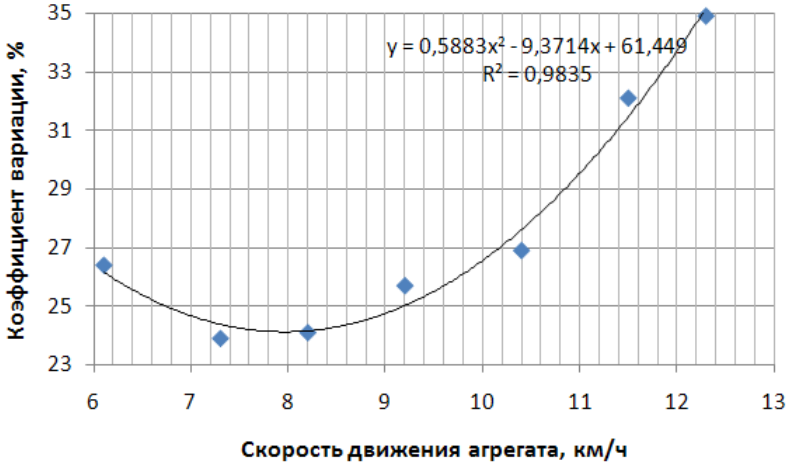


Рисунок 5 - График зависимости неравномерности распределения семян (ν) зерновых культур по площади рассева от скорости движения агрегата (u)

Список литературы

1. Посевные машины. Теория, конструкция, расчет / Н. П. Ларюшин, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев и др. – М.: Росинформагротех, 2010. – 292 с., ил.

2. Ларюшин, Н.П. Современные посевные машины: учебное пособие / Н.П. Ларюшин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 100 с.

3. Ларюшин, Н.П. Технологии и комплексы машин в растениеводстве / Н.П. Ларюшин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 167 с.

4. Конструкция катушечного высевающего аппарата с секционной катушкой для посева зерновых культур / В.Н. Кувайцев, Н.П. Ларюшин, В.В. Шумаев и др.// Нива Поволжя. – 2017. – № 1 (42). – С. 86-91.

5. Теоретические исследования катушечного высевающего аппарата с секционной катушкой для посева зерновых культур / Н.П. Ларюшин, А.Ю. Щученков, В.В. Шумаев// Нива Поволжья. – 2017. – № 2 (43). – С. 70-77.

References

1. Posevnye mashiny. Teorija, konstrukcija, raschet / N. P. Larjushin, A. V. Machnev, V. V. Shumaev i dr. – M.: Rosinformagroteh, 2010. – 292 s., il.

2. Larjushin, N.P. Sovremennye posevnye mashiny: uchebnoe posobie / N.P. Larjushin. – Penza: RIO PGSHA, 2007. – 100 s.

3. Larjushin, N.P. Tehnologii i kompleksy mashin v rastenievodstve / N.P. Larjushin. – Penza: RIO PGSHA, 2016. – 167 s.

4. Konstrukcija katushechnogo vysevajushhego apparata s sekcionnoj katushkoj dlja poseva zernovyh kul'tur / V.N. Kuvajcev, N.P. Larjushin, V.V. Shumaev i dr.// Niva Povolzhja. – 2017. – № 1 (42). – S. 86-91.

5. Teoreticheskie issledovanija katushechnogo vysevajushhego apparata s sekcionnoj katushkoj dlja poseva zernovyh kul'tur / N.P. Larjushin, A.Ju. Shhuchenkov, V.V. Shumaev// Niva Povolzh'ja. – 2017. – № 2 (43). – S. 70-77.

УДК 665.6.004.4

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ТОПЛИВА ИЗ НАЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Левин Максим Юрьевич,
кандидат технических наук,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов.
E-mail: lmu@list.ru
Нагорнов Станислав Александрович,
доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов.
E-mail: snagornov@yandex.ru
Левина Екатерина Юрьевна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Реферат. *Известно, что около 75 % потерь нефтепродуктов, полностью не устранимых на современном уровне развития средств хранения углеводородов, являются потери от испарения. Показано, что существующие методики применяются для расчета потерь бензина от испарения в наземных резервуарах большой емкости (типа РВС вместимостью от 400 до 100000 м^3) или в горизонтальных подземных резервуарах типа РГС от 25 до 100 м^3 и не учитывают возможного изменения параметров, влияющих на процесс испарения, ряд критериальных уравнений получен в результате проведения экспериментов с бензинами, которые давно уже не производятся. Предложена новая методика расчета потерь, которая учитывает реальный механизм испарения моторного топлива в наземных горизонтальных стальных резервуарах, используемых в сельском хозяйстве, т.е. для наземных горизонтальных стальных резервуаров вместимостью Р-5, Р-10, Р-25, Р-50, Р-4, Р-8, Р-20, Р-60.*

Ключевые слова: *испарение топлива, хранение, горизонтальный резервуар.*

THE FEATURES OF THE PROCESS OF EVAPORATION OF FUEL FROM ABOVEGROUND HORIZONTAL TANKS

Levin Maxim,
Candidate of Technical Sciences, All-Russian Research Institute for Use of Mashinery and Petroleum Products in Agriculture., Novo-Rubezhnyj per., 28, Tambov, Russian Federation,

E-mail: lmu@list.ru
Nagornov Stanislav,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, All-Russian Research Institute for Use of Mashinery and Petroleum Products in Agriculture., Novo-Rubezhnyj per., 28, Tambov, Russian Federation,
E-mail: snagornov@yandex.ru
Levina Ekaterina,
candidate of technical sciences, assistant professor of the Physics Department, Bauman Moscow State Technical University

Abstract. *It is known that about 75% of losses of oil products, completely not eliminated at the current level of development of hydrocarbon storage facilities, are evaporation losses. It is shown that the existing methods are used to calculate losses of gasoline from evaporation in terrestrial large-capacity tanks (of the RVS type with a capacity of 400 to 100,000 m3) or in horizontal underground reservoirs of the RGS type from 25 to 100 m3 and do not take into account possible changes in parameters affecting the evaporation process , a number of criterial equations was obtained as a result of experiments with gasoline, which have long been not produced. A new method for calculating losses is proposed, which takes into account the real mechanism of evaporation of motor fuel in horizontal horizontal steel tanks used in agriculture, i.e. for ground horizontal steel tanks with a capacity of P-5, P-10, P-25, P-50, P-4, P-8, P-20, P-60.*

Keywords: *fuel evaporation, storage, horizontal tank.*

Введение. Борьба с потерями моторного топлива – одно из главных направлений рационального использования топливно-энергетических ресурсов. Несмотря на принимаемые в течение ряда лет меры, потери все еще остаются высокими – только в сфере хранения нефтепродуктов теряется до 2% объема перерабатываемой на топливо нефти. Основным видом потерь нефтепродуктов, полностью не устранимых на современном уровне развития средств хранения углеводородов, являются потери от испарения (около 75 %). Ущерб, наносимый этим видом потерь, является экономическим (прямые потери дорогостоящего топлива, снижение его качества, приводящее к выходу из строя автотракторной техники, работающей на некондиционном топливе) и экологическим (загрязнение воздуха углеводородами). Только за счет устранения потерь можно сэкономить около 20 % нефтепродуктов и предотвратить загрязнение окружающей среды.

Материалы и методы. Для осознанного подхода к вопросам совершенствования существующих и разработке новых инновационных технологических процессов, связанных с предупреждением испарения нефтепродуктов, приводящего к выбросам из резервуара паров топлива в атмосферу, прежде всего, нужно знать реальный механизм процессов переноса, который лежит в их основе.

Основное внимание исследователи уделяли разработке методик расчета потерь бензина от испарения в наземных резервуарах большой емкости (типа РВС вместимостью от 400 до 100000 м^3) или в горизонтальных подземных резервуарах типа РГС от 25 до 100 м^3. В сельском хозяйстве наиболее распространены наземные горизонтальные стальные резервуары вместимостью Р-5, Р-10, Р-25, Р-50, Р-4, Р-8, Р-20, Р-60. Для предотвращения потерь от испарения за счет малых «дыханий» рекомендовалось использовать герметично закрытые резервуары с дыхательными клапанами, уменьшать газовое пространство резервуара, сокращать количество резервуаров и увеличивать их емкость, хранить топливо под давлением. Существующие методики расчета потерь от испарения для резервуаров нефтебаз и АЗС весьма

сложны для применения, имеющиеся уравнения не охватывают всего практически возможного изменения параметров, влияющих на процесс испарения, ряд критериальных уравнений получен в результате проведения экспериментов с бензинами, которые давно уже не производятся. На основе анализа существующих методик можно сделать вывод о необходимости разработки новой методики расчета потерь, которая будет учитывать реальный механизм испарения моторного топлива в наземных горизонтальных стальных резервуарах, используемых в сельском хозяйстве.

Потери от испарения рассматриваем как результат двух взаимосвязанных процессов: испарение углеводородов топлива и вытеснение их паров из резервуара. Резервуар для хранения моторного топлива можно представить как герметизированную (закрытую) ёмкость, процесс испарения в которой характеризуется переходом жидкой фазы в газообразную.

В настоящее время считается общепризнанным, что испарение со свободной поверхности жидкости обусловлено тепловым движением её молекул. Если энергия молекул достаточна для преодоления сил сцепления, то они вырываются из поверхностного слоя жидкости в окружающую среду (газовую фазу). Часть молекул в результате столкновения между собой и молекулами газа отражается к поверхности испарения, где вновь происходит отражение или поглощение. Другая часть вырвавшихся молекул молекулярной диффузией и конвекцией распространяется в окружающей среде и окончательно теряется жидкостью.

Этот процесс характеризуется коэффициентом испарения, представляющего собой отношение безвозвратно отлетающих молекул пара к числу испущенных жидкостью. При этом обычно пренебрегают температурным скачком, исключая из рассмотрения термическое сопротивление фазового перехода. Давление пара в слое неразреженной парогазовой смеси у поверхности жидкости считают давлением насыщения при температуре поверхности жидкости.

Процесс испарения бензина существенно отличается от испарения воды или другой химически однородной жидкости, поскольку бензин представляет собой смесь углеводородов бензиновых фракций и добавляемых к ним присадок (неуглеводородных примесей: сернистых, азотистых и кислородных соединений).

Фазовые превращения в условиях хранения таких многокомпонентных веществ как нефтепродукты вследствие исключительной сложности их состава протекают значительно сложнее, чем химически однородных жидкостей.

При этом групповой углеводородный состав бензиновых фракций существенно зависит от сорта нефти и вида процесса ее переработки (таблица 1).

Таблица 1. – Изменение группового углеводородного состава бензиновых фракций в зависимости от процесса переработки нефти

Углеводороды	Групповой состав фракций, %			
	Первичная Перегонка	Термокрекинг	каталитический крекинг	каталитический риформинг
Ароматические	3-10	12-26	20-25	35-50
Нафтеновые	12-30	5-10	15-20	5-10
Парафиновые	60-70	40-50	40-50	20-40
Олефиновые	–	20-30	20-30	–

Нефть в разных скважинах обладает свойственными только ей характеристиками, обуславливающими ее условное подразделение на три сорта (легкие, средние и тяжелые), а каждый сорт, в свою очередь, характеризуется соответствующим составом (наличием примесей, содержанием серы, различным содержанием групп алканов), качеством и однородностью. Поэтому для получения товарного бензина требуется компаундирование фракций, получаемых переработкой конкретного сорта нефти. Различие группового углеводородного состава также оказывает влияние на скорость испарение бензина.

Обычно различают два вида испарения: статическое (при котором отсутствует относительное перемещение топлива и воздуха на поверхности их соприкосновения) и динамическое (происходящее в условиях обдува испаряющегося топлива воздухом при относительном перемещении топлива и воздуха). В настоящей работе рассматривается статическое испарение, поскольку оно имеет место при хранении топлива в резервуарах.

Результаты и обсуждение. При испарении молекулы бензина вылетают из жидкости в окружающий воздух. Часть испарившихся молекул может снова удариться о поверхность жидкости и поглотиться ею. Степень испарения бензина определяется разностью между количеством молекул, вылетающих из жидкости и снова ею поглощаемых.

Интенсивность (скорость) испарения зависит от начальной концентрации молекул бензина в воздухе и от скорости их диффузии. Если газовое пространство над жидкостью не ограничено, то испарение происходит с максимальной скоростью. В этом случае имеем свободное испарение.

В замкнутом объеме в начальный момент скорость испарения равна скорости свободного испарения, но по мере насыщения воздуха молекулами топлива увеличивается число молекул, возвращающихся обратно в жидкую фазу, и процесс испарения замедляется.

При определенной концентрации молекул бензина в воздухе число вылетающих молекул из жидкости и возвращающихся в нее молекул уравнивается, наступает состояние динамического равновесия.

Максимальная концентрация паров бензина в воздухе, при которой устанавливается состояние динамического равновесия, характеризует собой давление насыщенных паров данного вида бензина. Чем выше давление насыщенных паров бензина, тем большее количество его испарится, прежде чем концентрация молекул в паровой фазе достигнет состояния динамического равновесия.

Известно [1], что условие равновесия двухфазной системы «жидкость-газ» определяется равенством давлений (p) и температур (T) обеих фаз и их химических потенциалов (φ)

$$p^{(1)} = p^{(2)};\ T^{(1)} = T^{(2)};\ \varphi^{(1)} = \varphi^{(2)}, \qquad (1)$$

где индекс (1) относится к жидкой фазе, а индекс (2) – к газовой.

Из условий (1) следует, что масса не входит в условия равновесия фаз, т.е. от изменения количества вещества в каждой из фаз равновесие не нарушается (если не меняется плотность фаз).

Давление при фазовом равновесии есть функция температуры

$$p = p_s\,(T), \qquad (2)$$

где p_s – давление при равновесии фаз.

Из уравнения (2) следует, что две фазы могут находиться в равновесии одна с другой не при любых p и T, а при вполне определенных значениях последних, причем задание одного из этих параметров вполне определяет значение другого.

Из условий равновесия следует также, что и удельные объёмы $v^{(1)}$ и $v^{(2)}$ равновесно сосуществующих фаз являются функциями только температуры T.

Каждая из фаз может существовать в любых состояниях (т.е. при данной температуре T давление любой фазы может быть как больше, так и меньше p_s). При рассмотрении термодинамических функций количества вещества в системе считалось неизменным. Изменение энергии при изменении количества вещества в системе на один моль характеризуется химическим потенциалом. Равенство химических потенциалов $\varphi^{(1)}$ и $\varphi^{(2)}$ сосуществующих фаз означает, что при данной температуре T кривые $\varphi^{(1)}$ (p, T = idem) и $\varphi^{(2)}$ (p, T = idem) пересекаются в точке, абсцисса которой равна значению давления при равновесии (p_s). Обе кривые $\varphi^{(1)}$ (p, T = idem) и $\varphi^{(2)}$ (p, T = idem) имеют положительный угловой коэффициент, поскольку $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial \mathrm{p}}\right)_{\mathrm{T}} = v$. С изменением температуры T точка пересечения кривых $\varphi^{(1)}$ и $\varphi^{(2)}$ соответственно перемещается. Фаза, имеющая при данных условиях более высокий химический потенциал, будет стремиться переходить в фазу с меньшим химическим потенциалом, поскольку фаза, имеющая при данных p и T наименьшее значение химического потенциала, является наиболее устойчивой.

При $p = p_s$ химические потенциалы обеих фаз одинаковы, т.е. ни одна из фаз не имеет преимущества перед другой в отношении устойчивости, и поэтому вещество будет существовать в виде смеси двух фаз, находящихся в равновесии.

В области ($p > p_s$) наименьшим химическим потенциалом обладает первая фаза, а в области ($p < p_s$) – вторая. Вследствие этого, при ($p > p_s$) более устойчивой является первая фаза, так что в этой области вещество будет преимущественно находиться в виде первой фазы (или будет стремиться прейти в неё). При ($p < p_s$) более устойчивой является вторая фаза и вещество будет находиться в виде второй фазы.

Если представить зависимость химического потенциала каждой из фаз от T (т.е. при p = idem), то в отличие от кривой φ (p, T = idem) кривая φ (T, p = idem) имеет отрицательный угловой коэффициент, поскольку $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial \mathrm{T}}\right)_{\mathrm{p}} = -s$ и отрицательна (так как всегда s > 0).

Путём равновесного перевода некоторого количества вещества из одной фазы в другую невозможно получить полезную внешнюю работу, т.е. в состоянии фазового равновесия система не производит полезной внешней работы. Этот факт также свидетельствует, что в состоянии фазового равновесия обе фазы вещества одинаково устойчивы.

Равновесный фазовый переход сопровождается поглощением (испарение) или выделением (конденсация) теплоты. Поскольку количество получаемой системой теплоты в процессе T = idem равняется $T(S^{(2)} - S^{(1)})$, а (– s) можно выразить в виде частной производной $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial \mathrm{T}}\right)_{\mathrm{p}}$, то при равновесном фазовом переходе, являющимся изотермически-изобарическим процессом, количество теплоты r можно представить в следующем виде

$$r = T\left[\left(\frac{\partial\varphi^{(1)}}{\partial T}\right)_p - \left(\frac{\partial\varphi^{(2)}}{\partial T}\right)\right]. \quad (3)$$

Высокотемпературная фаза (т.е. фаза, имеющая при температурах, которые больше температуры фазового равновесия при данном давлении, меньшее значение химического потенциала) более устойчивая при высоких температурах и характеризуется большим наклоном кривой φ (T, p = idem). Поэтому при равновесном фазовом переходе от низкотемпературной фазы к высокотемпературной разность $\left(\frac{\partial\varphi^{(1)}}{\partial T}\right)_p - \left(\frac{\partial\varphi^{(2)}}{\partial T}\right)$, а,

следовательно, и количество теплоты r будет положительно, т.е. переход низкотемпературной фазы в высокотемпературную будет сопровождаться поглощением теплоты извне. В противоположном случае (при фазовом переходе от высокотемпературной фазы к низкотемпературной) теплота будет выделяться.

Так как равновесный фазовый переход является, согласно условию (1), изотермически-изобарическим процессом, то удельная теплота фазового перехода (или превращения) может быть определена как разность удельных энтальпий обеих фаз или в виде разности удельных энтропий обеих фаз, помноженной на абсолютную температуру, при которой совершается фазовый переход

$$r = i^{(2)} - i^{(1)}; \quad (4)$$

$$r = T(s^{(2)} - s^{(1)}). \quad (5)$$

Представив удельную энтальпию в виде (i = u + pv), получим с учетом уравнения (4)

$$r = (u^{(2)} - u^{(1)}) + p_s(v^{(2)} - v^{(1)}). \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что теплота фазового превращения представлена в виде суммы двух слагаемых, первое из которых есть разность удельных внутренних энергий обеих фаз, а второе – отнесенная к 1 кг вещества работа увеличения удельного объёма вещества от значения $v^{(1)}$ в первой фазе до значения $v^{(2)}$ во второй фазе.

Разность $(u^{(2)} - u^{(1)})$ иногда называют внутренней теплотой фазового превращения, зависящей от величины сил взаимного притяжения молекул и численно равной работе, которую нужно совершить против сил молекулярного притяжения, чтобы увеличить удельный объём вещества с $v^{(1)}$ до $v^{(2)}$.

При этом давление p_s, объёмы каждой из фаз $v^{(1)}$, $v^{(2)}$, их энтальпии $i^{(1)}$, $i^{(2)}$ и энтропии $s^{(1)}$, $s^{(2)}$ являются функциями температуры T. Поэтому и теплота фазового перехода r также является функциями температуры T. Для определения этой зависимости продифференцируем уравнение (5) по T, получим

$$\frac{\partial r}{\partial T} = \left(s^{(2)} - s^{(1)}\right) + T\left(\frac{ds^{(2)}}{dT} - \frac{ds^{(1)}}{dT}\right) = \frac{r}{T} + T\left[\left(\frac{\partial s^{(2)}}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial s^{(2)}}{\partial v}\right)_T \cdot \frac{dv^{(2)}}{dT} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{\partial s^{(1)}}{\partial T}\right)_V - \left(\frac{\partial s^{(1)}}{\partial v}\right)_T \cdot \frac{dv^{(1)}}{dT}\right]. \quad (7)$$

Поскольку $T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_V$ есть теплоёмкость c_v, а производная $\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$ равняется $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$, то подставив их в уравнение (7), получим

$$\frac{dr}{dT} = \frac{r}{T} + \left(c_V^{(2)} - c_V^{(1)}\right) + T\left[\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V^{(2)} \cdot \frac{dv^{(2)}}{dT} - \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V^{(1)} \cdot \frac{dv^{(1)}}{dT}\right]. \quad (8)$$

Для фазовых переходов первого рода характерным является скачкообразное изменение объёма и энтропии, и, как следствие этого, внутренней энергии, энтальпии и теплоёмкости. Согласно определению фазовых переходов первого рода $r \neq 0$. Действительно, $(s^{(2)} - s^{(1)}) \neq 0$, т.е. энтропия терпит разрыв непрерывности. Аналогично можно показать, что и удельные объёмы также испытывают разрыв непрерывности, т.е. $(v^{(2)} - v^{(1)}) \neq 0$. Найдём изменение внутренней энергии при рассматриваемых переходах. Из термодинамики известно, что

$dU = TdS - pdV = T(s^{(2)} - s^{(1)}) - p(v^{(2)} - v^{(1)})$.

С учетом вышесказанного, имеем $dU \neq 0$.

Изменение энергии Гельмгольца (ранее она называлась свободной энергией) имеет вид

$dF = -SdT - pdV$.

В случае изотермического процесса $dT = 0$, поэтому

$dF = -pdV = -p(v^{(2)} - v^{(1)}) \neq 0$.

Условием термодинамического равновесия системы имеющей неизменные температуру и объём, является минимум энергии Гельмгольца системы, т.е. при неравновесном процессе энергия Гельмгольца системы уменьшается и при достижении равновесия имеет минимум. Энергия Гельмгольца убывает при необратимых процессах или остаётся неизменной при обратимых процессах, но никогда не возрастает. Изменение этой энергии даёт возможность изучать изотермические равновесия системы, а для случая неравновесных процессов определять, насколько близко или далеко находится система от состояния равновесия.

Аналогично, изменение энтальпии при p = idem

$dI = TdS + pdV = T(s^{(2)} - s^{(1)}) \neq 0$.

Система, которая в условиях термодинамического равновесия имеет T = idem и p = idem, наиболее полно характеризуется термодинамическим потенциалом Гиббса $G = f(p,T)$, который в этом случае имеет минимум (энергия Гиббса или изобарный потенциал минимальны). Для системы (рассматриваемый случай), состоящей из двух фаз при T = idem и p = idem, при стремлении её к равновесию энергия Гиббса убывает.

Дифференциал энергии Гиббса для системы с постоянным числом частиц выражается в собственных переменных — через давление p и температуру T:

$$dG = -SdT + Vdp \tag{9}$$

При хранении в топливах непрерывно протекают взаимосвязанные и взаимозависимые химические, электрохимические и микробиологические реакции, поэтому хранящееся в резервуаре топливо является системой с переменным числом частиц. Для таких систем изменение энергии Гиббса определяется выражением:

$$dG = -SdT + VdP + \varphi dN, \tag{10}$$

где N – число частиц.

Химический потенциал является одной из важнейших характеристик системы; его можно определить как термодинамическую функцию, определяющую состояние какого-либо компонента в фазе известного состава при определенных внешних воздействиях. Химический потенциал можно считать мерой изменения свободной энергии системы в зависимости от изменения массы данного компонента. Химический потенциал зависит как от концентрации данного компонента, так и от природы остальных компонентов фазы и их концентраций. Это очень важно при рассмотрении процессов, происходящих в топливах, т.к. и традиционные нефтяные моторные топлива, и альтернативные бензанолы и биодизельные топлива представляют собой смеси веществ различного строения и молекулярной массы.

Химический потенциал вещества, находящегося в жидкой фазе, выражается уравнением:

$$\varphi_{iж} = \varphi^0_{iж} + R \cdot T \cdot lna_i, \tag{11}$$

где a_i – активность вещества; $\varphi^0_{iж}$ – химический потенциал вещества при $a = 1$; R – универсальная газовая постоянная [2].

Давление паров над топливом в условиях хранения далеко от критического, поэтому газовую фазу системы топливо - пар можно рассматривать как смесь идеальных газов и химический потенциал i-го компонента в газовой фазе $\mu_{iг}$ можно выразить уравнением:

$$\varphi_{iг} = \varphi^0_{iг} + R \cdot T \cdot lnp_i \tag{12}$$

где $\varphi^0_{iг}$ – химический потенциал компонента i при стандартных условиях, p_i – парциальное давление компонента i.

Разность химических потенциалов является движущей силой при переходе вещества из одной фазы в другую. Рассмотрим углеводородное топливо как многокомпонентную систему, состоящую из двух фаз.

Химический потенциал *i*-го компонента в жидкой фазе $\varphi_{iж}$, в газовой $\varphi_{iг}$, причем $\varphi_{iж} > \varphi_{iг}$. В системе самопроизвольно совершается переход i-го вещества в направлении уменьшения химического потенциала из жидкой фазы в газообразную.

Как показано выше, по мере перехода i-го компонента из одной фазы в другую потенциал $\varphi_{iж}$ уменьшается, а потенциал $\varphi_{iг}$ возрастает и скорость перехода υ_1 компонента из жидкой фазы в газообразную уменьшается. Одновременно с этим скорость υ_2 обратного процесса возрастает. При достаточной длительности процесса $\varphi_{iг} = \varphi_{iж}$, $\upsilon_1 = \upsilon_2$ и достигается состояние равновесия между фазами. Состоянию равновесия отвечает строго определенное распределение вещества i между двумя фазами. Термодинамическим условием равновесного распределения i-го компонента между жидкостью и паром при данных температуре и давлении является равенство химических потенциалов компонента в обеих фазах:

$$\varphi_{iж} = \varphi_{iг} \qquad (13)$$

Равенство химических потенциалов не означает обязательное равенство концентраций компонентов в обеих фазах. Химический потенциал является мерой, характеризующей способность компонента переходить в данную фазу или ее покидать, являться движущей силой фазового перехода.

Согласно закону Рауля, химический потенциал *i*-го компонента в паре можно выразить через его мольную долю x_i в жидкой фазе:

$$\varphi_{iг} = \varphi^0_{iг} + R \cdot T \ln x_i \cdot p_i \qquad (14)$$

где p_i - давление пара чистого компонента при температуре *T*.

Химический потенциал того же компонента в жидкой фазе так же может быть выражен через его мольную долю:

$$\varphi_{iж} = \varphi^0_{iж} + R \cdot T \ln \gamma_i \cdot x_i \qquad (15)$$

где γ_i – коэффициент активности.

Из этих уравнений можно сделать вывод о том, что изменение мольной доли компонента в топливе в результате реакции окисления или уплотнения вызовет изменения его химического потенциала, а значит и сдвиг равновесия в системе на границе раздела фаз. Для того чтобы определить направление этого сдвига, топливо необходимо представить как сложную трехкомпонентную систему «пар – жидкость – твердая фаза», в которой кроме равновесия «жидкость – пар» существует и равновесие «жидкость – твердая фаза».

Изменение свойств дизельного топлива (его дисперсионной среды) при введении в него соединений, содержащих полярные группы, например, при разбавлении его бензином риформинга, содержащим полярные непредельные соединения, приводит к заметному увеличению осадкообразования.

Низкотемпературное окисление кислородом воздуха химически неустойчивых соединений, входящих в состав топлива, окислительная полимеризация и поликонденсация высокомолекулярных соединений вызывают образование полярных соединений, их коагуляцию и осаждение. Эти процессы влияют и на испаряемость топлива. По мере образования осадка часть компонентов удаляется из системы, соотношение высококипящих и низкокипящих компонентов меняется, что может привести к сдвигу равновесия «жидкость – пар» и изменению парциального давления паров топлива.

Увеличение мольной доли низкокипящих компонентов приводит к большему росту энтропии системы при неизменной скорости увеличения температуры кипения. А изменение энтропии системы ΔS_n связано с фазовым переходом соотношением:

$$\Delta S_n = \Delta H_{исп}/\Delta T \quad (16)$$

Следовательно, рост ΔS_n будет определяться увеличением $\Delta H_{исп}$ — энтальпии испарения. Согласно уравнению Клайперона-Клаузиуса имеем:

$$dlnP_s/dT = \Delta H_{исп}/R \cdot T^2 \quad (17)$$

где P_s – давление насыщенных паров нефтепродуктов.

Увеличение правой части соотношения (17) определяет рост $dlnP_s/dT$, что характерно для испарения легкокипящих компонентов.

Видно, что процессы испарения, окисления и осадкообразования тесно связаны между собой и могут привести к изменению фракционного, химического и фазового состава топлив. Это приводит к ухудшению качества топлив в процессе хранения и увеличению его потерь от испарения.

Однако долю низкокипящих компонентов в топливе можно снизить при введении в него высококипящих компонентов, например, биодизельного топлива, компонентами которого являются метиловые эфиры высших алифатических кислот, имеющие более высокие молекулярные массы и, следовательно, температуры кипения, чем углеводороды нефтяного топлива. При создании смесевого топлива мольная доля низкокипящих нефтяных компонентов топлива снижается, что ведёт к меньшему росту энтропии системы и, в соответствии с уравнением (16), к уменьшению энтальпии испарения. Уменьшение правой части соотношения (17) определяет снижение $dlnP_s/dT$, что приводит к уменьшению скорости испарения легкокипящих углеводородных компонентов.

Полученные нами зависимости хорошо согласуются с закономерностями для расчёта испарений топлив из резервуаров, полученными Ф.Ф. Абузовой и А.А. Коршаком. Так, движущей силой процесса испарения [3], является разность $(C_S - C)$ между концентрацией насыщенных паров нефтепродукта C_S и средней объёмной концентрацией C паров нефтепродукта в газовом пространстве резервуара.

Модуль движущей силы можно представить выражением:

$$\Delta Mд = (C_S - C)/ (1 - C_S) \quad (18)$$

Концентрация насыщенных паров нефтепродукта непосредственно зависит от давления насыщенных паров нефтепродукта:

$$C_S = P_S / P_г, \quad (19)$$

где $P_г$ – давление в газовом пространстве резервуара.

Давление насыщенных паров топлива может меняться из-за сдвига равновесия в системе на границе раздела фаз, происходящего из-за изменения химических потенциалов компонентов топлива.

Выводы.

1 Движущая сила процесса испарения непосредственно зависит от изменения химических потенциалов соединений, входящих в состав топлив, а, значит и от интенсивности окислительных, полимеризационных и коагуляционных процессов, протекающих в топливе при хранении. Следовательно, меры, направленные на снижение скорости нежелательных химических реакций (и уменьшение качественных потерь топлив), будут способствовать и снижению количественных потерь топлив от испарения при любых типах технологических операций: хранении, закачке, сливе.

2 В резервуаре, предназначенном для хранения моторных топлив, можно выделить три зоны: паровоздушное пространство, топливная зона и зона подтоварной воды.

3 В паровоздушном пространстве резервуара кроме паров нефтепродукта присутствуют компоненты воздуха (в основном, азот и кислород) и водяные пары. В результате «дыханий» резервуара и суточных перепадов температур, создаются условия для конденсации влаги на внутренней поверхности резервуара. Наличие водной пленки, насыщенной кислородом воздуха, вызывает коррозионное поражение стенок резервуара.

4 Термодинамические углеводородные системы характеризуются внутренней энергией U, энтальпией H, энтропией S, изохорным F и термодинамическим G потенциалами. Каждую из этих функций можно представить в виде различных переменных, определяющих состояние системы.

5 Процесс испарения относится к фазовым переходам первого рода, сопровождается поглощением теплоты и для него характерно увеличение энтальпии $dH > 0$. Энтропия системы в результате такого перехода возрастает, $dS > 0$. Направление фазового перехода определяется соотношением термодинамических потенциалов фаз. Переход совершается в направлении уменьшения термодинамического потенциала (энергии Гиббса), $dG < 0$.

6 Рассмотрено условие равновесного фазового перехода от нефтепродукта (жидкая фаза) к парообразному(газовая фаза) при данном давлении и при определенной температуре. Давление и температура жидкой фазы и газовой фазы при равновесном фазовом переходе не изменяются. Полный объём, занимаемый паром и жидкостью, растёт по мере перехода вследствие меньшей плотности паровой фазы по сравнению с жидкой. Между переходом молекул из жидкости в пар и обратным переходом молекул пара в жидкость устанавливается динамическое равновесие, в результате которого плотность молекул над жидкостью, а, следовательно, и давление насыщенного пара принимают при данной температуре вполне определенные величины. С изменением температуры равновесие смещается, вызывая соответствующие изменения плотности и давления насыщенного пара. Условия равновесия жидкой и газообразной фаз (1) относятся к тому случаю, когда объёмы обеих фаз бесконечно велики, поэтому поверхность раздела обеих фаз принималась плоской. При плоской поверхности раздела фаз поверхностное натяжение не проявляет своего действия, вследствие чего оно и не входит в этом случае в (1).

Список литературы

1 Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика: учебное пособие для вузов [Текст]. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.

2 Ерёмин, В.В. Основы физической химии [Текст] / В.В. Ерёмин, С.И. Каргов, И.А. Успенская, Н.Е. Кузьменко. – М.: Экзамен, 2005. – 480 с.

3 Абузова, Ф.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их трпнспортировке и хранении [Текст] /Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, В.Н. Новосёлов и др. – М.: Недра, 1981. – 248 с.

References

1 Vukalovich M.P., Novikov I.I. Termodinamika: uchebnoe posobie dlya vuzov [tekst]. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 672 s.

2 Eryomin, V.V. Osnovy fizicheskoj ximii [tekst] / V.V. Eryomin, S.I. Kargov, I.A. Uspenskaya, N.E. Kuzmenko. – M.: Ekzamen, 2005. – 480 s.

3 Abuzova, F.F. Borba s poteryami nefti i nefteproduktov pri ix trpnsportirovke i xranenii [tekst] /F.F. Abuzova, I.S. Bronshtejn, V.N. Novosyolov i dr. – M.: Nedra, 1981. – 248 s.

УДК 621.793.7

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬХОЗМАШИН

Жачкин Сергей Юрьевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АОМП,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный технический университет» ФГБОУ
ВО «ВГТУ» 394026, г. Воронеж, Московский пр-т, 14.
E-mail: zhach@list.ru
Пеньков Никита Алексеевич
кандидат технических наук, научный сотрудник,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г.
Воронеж). 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «А».
E-mail: myth_np_nikit@mail.ru
Трифонов Григорий Игоревич
соискатель кафедры автоматизированного оборудования
машиностроительного производства, ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный технический университет»,

Реферат. *Из литературных источников известно, что наиболее распространенной причиной эксплуатационных отказов в подавляющем большинстве случаев износ и повреждение рабочих поверхностей деталей. В связи с этим, вопросы повышения надежности деталей сельскохозяйственных машин и механизмов с одновременным уменьшением расхода металла на их производство и повышение износостойкости приобретают все большую актуальность. Целью данной работы являлась модернизация технологии плазменного напыления для обеспечения повышения прочности сцепления покрытия полученного на основе порошка ПГ-СР3 с добавкой 20% карбида титана к основе из стали 45 в зависимости от технологических режимов. Показано, что варьирование условиями обработки позволяет целенаправленно управлять износостойкостью и адгезией покрытия к основе. Установлено что на адгезию наносимого покрытия к основе существенно влияет дистанция напыления, причем характер влияния носит экстремальный характер. Наивысшую адгезию имеет покрытие, наносимое на поверхность с дистанции 100 мм. Доказано, что необходимо использовать аргоновую плазменную струю в связи с тем, что преимущество ее применения заключается в быстром спаде температуры вдоль потока, что предотвращает высокотемпературное воздействие на поверхность, подвергаемую нанесению покрытия. Это в свою очередь предотвращает нежелательные температурные коробления деталей, подвергаемых плазменному напылению. Установлено, что для обеспечения стойкости покрытия к абразивному износу, получения покрытия, устойчивого к воздействию ударных нагрузок и с целью облегчения дальнейшей механической обработки покрытий, следует производить напыление композитного покрытия состоящего из порошковой смеси ПГ-СР3, с добавлением 20 % карбида титана с последующим оплавлением. Для уменьшения деформаций деталей, возникающих при термическом воздействии плазменной струи, установлен оптимальный состав плазмообразующего газа с содержанием азота до 35 %.*

Ключевые слова*: плазменное напыление, адгезия наплавленного слоя.*

APPLICATION OF PLASMA SPRAYING TECHNOLOGY FOR IMPROVING OPERATIONAL RELIABILITY AGRICULTURAL MACHINERY

Zhachkin Sergey Yurevich
Dr.Sci.Tech., professor, the professor of chair of the automated equipment of machine-building manufacture, the Voronezh state technical university, Voronezh. E-mail zhach@list.ru
Penkov Nikita Alekseevich
Cand. Sci. Tech., researcher, Military Educational Scientific Center Air Force "Air Force academy name of Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin" (Voronezh). E-mail: myth_np_nikit@mail.ru
Trifonov Gregory Igorevich
aspirant, Department of automated production equipment and machinery, Federal state budgetary educational institution of higher education "Voronezh state technical University", Voronezh.

Abstract. *From the literature it is known that the most common cause of operational failures in most cases, the wear and tear of working surfaces of parts. In this regard, the issues of improving the reliability of parts of agricultural machinery with a simultaneous decrease in the consumption of metal in their production and increase wear resistance are becoming increasingly important. The aim of this work was to upgrade the technology of plasma spraying for increasing GHG-CP3 adhesion strength of the coating obtained on the basis of powder with the addition of 20% titanium carbide to the base of the 45 steel, depending on the technological modes. It is shown that varying the processing conditions allows control purposefully durability and coating adhesion to the substrate. It was found that the adhesion of the coating to the substrate greatly influences spraying distance, the nature of the effect is extreme. Has highest adhesion coating applied to the surface with a distance of 100 mm. It is proved that it is necessary to use an argon plasma jet due to the fact that the advantage of its use is the rapid decline of the temperature along the flow, thereby preventing high temperature exposure on the surface to be spray coating. This in turn prevents unwanted thermal warpage parts subjected to plasma spraying. It has been established that to ensure the durability of coating abrasion, the coating resistant to impact and to facilitate the further machining of coatings must be carried out spraying the composite coating consisting of a powder mixture PG-CP3, with the addition of 20% titanium carbide followed by reflow . In order to reduce deformations of parts arising from the thermal impact of the plasma jet is set optimal plasma gas composition having a nitrogen content of 35%.*

Keywords: *plasma spraying, the deposited layer adhesion.*

Введение. Практика эксплуатации сельскохозяйственных машин и оборудования подтверждает, что наиболее распространенной причиной их выхода из строя в 80% случаях является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей [1, 2].

Развитие конструкций машин происходит при постоянном стремлении к увеличению их производительности, что почти всегда сопровождается повышением механической и тепловой напряженности подвижных сопряжений деталей [1]. При этом ставятся задачи достижения высокой надежности и долговечности машины, снижения ее массы, сокращения расхода дефицитных материалов. Известно, что повышение долговечности машины даже в небольшой степени ведет к значительной экономии металла, уменьшению затрат на производство запасных деталей; сокращается число и объем ремонтов, а следовательно, увеличивается количество фактически работающих машин [1].

Поскольку при конструировании машин учитываются и экономические факторы производства и эксплуатации, конструктору необходимо проводить перспективный прогноз длительности использования данной машины с учетом продолжительности эксплуатации машин предшествующих моделей. В ряде случаев этот срок составляет 25 лет, а иногда и более, например, для автомобилей, тракторов, комбайнов [3]. При выборе конструктивного решения необходимо учитывать предстоящие затраты не только на изготовление машины и ее отдельных узлов, но и на обслуживание и ремонт. Последние затраты при длительной эксплуатации машины во много раз больше стоимости ее изготовления. Поэтому проблема повышения срока эксплуатации изделий и деталей, особенно в тех случаях, где их замена или ремонт по различным причинам невозможна или неоправданно дорогостояща, является актуальной. Одним из эффективных направлений решения этой проблемы - нанесение защитных износостойких покрытий газотермическими методами, в т. ч. плазменным напылением.

Конкурентные преимущества способов газотермического напыления заключаются в том, что эти технологи позволяют повысить качество выпускаемой продукции и одновременно обеспечить сохранение окружающей среды. Одна из таких технологий - плазменное напыление - за последние 20 лет получила достаточно широкое применение в различных отраслях промышленности. В Германии в настоящее время работает более 2000 установок газотермического напыления, Китай за последние годы закупил около 500 установок по напылению защитных покрытий. Российские компании используют газотермические технологии напыления для упрочнения деталей оборудования, предназначенного для бурения, нефтедобычи и нефтепереработки, транспортировке нефти и газа, энергетики, деталей автотранспорта и авиации.

Американское Сварочное Общество проводило изучение антикоррозийной защиты, напыляя алюминиевые покрытия на углеродистую сталь. Исследования показали — алюминиевое покрытие толщиной 0,08-0,15 мм, обеспечивают полную антикоррозийную защиту металла-основы в течение 20 лет в морской воде и в жёсткой морской и промышленной атмосфере. Именно по этой причине метод напыления металлов применяется уже более 50 лет для напыления деталей мостов, дымовых труб и деталей, более 20 лет для напыления деталей прибрежных конструкций. В Северном море первым сооружением, которое было покрыто металлическим напылением, стало специализированное оборудование морских платформ, такое как балки сигнального факела, мостиковые перекрытия между платформами и запасные ступеньки, которое невозможно было безопасно заменять. Сейчас практически все детали и корпуса буровых платформ защищаются с помощью применения плазменного напыления покрытий.

Вместе с тем, у плазменных покрытий имеется недостаток - низкая прочность сцепления покрытия с основой, высокая пористость, что ограничивает область их применения.

Цель статьи модернизировать технологию плазменного напыления для обеспечения повышения прочности сцепления покрытия полученного на основе порошка ПГ-СР3 с основой из стали 45 в зависимости от технологических режимов.

Экспериментальная часть. Детали, подвергаемые нанесению плазменных покрытий предварительно проходили электрохимическое обезжиривание в растворе содержащем на 1 л воды едкого натра 10 г, углекислого натрия 40 г и тринатрийфосфата 20 г. Перед употреблением указанный раствора нагревался до температуры 70—80 °С. Плотность тока 2— 6 А/дм^2. Экспериментальные исследования проводились на комплексе для плазменного напыления покрытия ТСЗП-MF-P-1000. В качестве материалов покрытия использовали порошковые смеси ПС-12НВК-01, ВСНГН-35, ПГ-СР3 + TiC [1, 2].

Режимы плазменного напыления были выбраны следующие:

напряжение на дуге 30 ÷ 35 В;

сила тока 280 ÷ 350 А;

расход плазмообразующего газа аргона 20 ÷ 25 л/мин;

расход транспортирующего газа азота 2 ÷ 4 л/мин;

расстояние от сопла до напыляемой поверхности 50 ÷ 100 мм;

диаметр выходного отверстия сопла плазмотрона 6 ÷ 7 мм;

частота вращения детали 40 ÷ 60 об/мин;

продольная подача плазмотрона 3,5 ÷ 4,0 мм/об.

Испытания прочности сцепления покрытия с основой проводили на испытательной машине РМ50 по штифтовому методу.

Стойкость покрытий к износу оценивали по показателю относительной износостойкости, который определяли путем сравнения интенсивностей изнашивания исследуемых покрытий с закаленной сталью 45.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований показали, что различная грануляция компонентов, входящих в порошковые смеси, не гарантирует равномерного их распределения в покрытии, что снижает стойкость к абразивному износу и устойчивость к воздействию ударных нагрузок.

С целью устранения указанных недостатков было принято решение произвести исследования влияния размеров фракции порошковых смесей на адгезию получаемых покрытий.

Результаты исследований показали, что наибольшую стойкость к абразивному износу имеет покрытие на основе порошковой смеси ПГ-СР3, с добавлением 20 % карбида титана.

Для получения покрытия, устойчивого к воздействию ударных нагрузок и с целью облегчения дальнейшей механической обработки, напыляли слой с последующим его оплавлением.

В результате оплавления компоненты в материале смешиваются и образуют покрытие композиционного типа, которое обладает хорошей износостойкостью, плотностью, прочностью сцепления, имеет высокую твердость и сопротивление ударам.

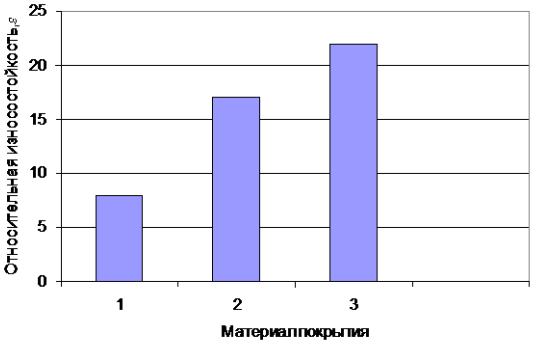
Дальнейшие исследования показали, что наибольшую износостойкость имеет покрытие на основе порошка ПГ-СР3 + TiC (рис. 1).

Однако процесс плазменного напыления не исключает деформации деталей, вызванной тепловым воздействием плазменной струи.

Анализ имеющихся в литературе экспериментальных данных [1 – 3] по снижению теплового воздействия плазменной струи на деталь показал перспективность методов:

• применение аргоновой плазмы, имеющей быстрый спад температуры вдоль потока;

• изменение дистанции напыления.



1 – покрытие ПС-12НВК-01; 2 – покрытие ВСНГН-35; 3 – покрытие ПГ-СР3 + TiC

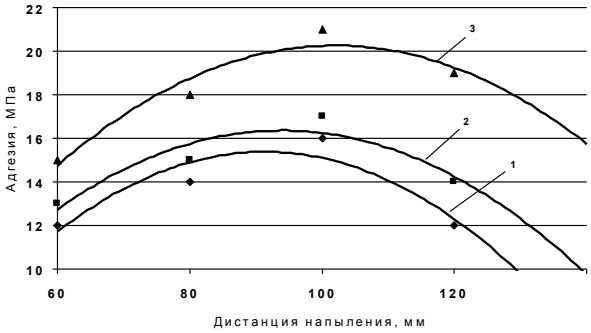
Рисунок 1 – Относительная износостойкость покрытия при плазменном напылении

Преимущества применения аргоновой плазменной струи заключается в быстром спаде ее температуры вдоль потока, однако для получения необходимой мощности напыления требуются значительные величины рабочих токов (до 700...800 А), которые превышают номинальные значения (300...400 А) для серийно выпускаемых установок.

Проведенные авторами данной статьи исследования показали, что снижение величины рабочих токов возможно изменением содержания азота в плазмообразующем газе. Установлено, что эффективная область регулирования токов находится в пределах содержания азота от 10 до 35 %.

При содержании в плазмообразующем газе азота до 35 % происходит также удлинение плазменной струи и значительные изменения тока и напряжения дуги. При этом достигаются номинальные режимы оборудования по току.

Сопоставление длины плазменной струи и дистанции напыления при содержании в плазмообразующем газе азота до 35 % позволило установить оптимальную дистанцию напыления, экстремальное значение которой, как видно из рисунка 2, составило 100 мм.



1 – покрытие ПС-12НВК-01; 2 – покрытие ВСНГН-35;3 – покрытие ПГ-СР3 + TiC

Рисунок 2 – Адгезия покрытия в зависимости от дистанции напыления

Толщина нанесенного слоя и его равномерность определяются сочетанием значений параметров процесса [1,2]. Одну и ту же толщину слоя можно получить при различных сочетаниях параметров напыления. Однако при этом прочность сцепления наплавленного слоя с основой будет различной.

В процессе проведения исследований путем оптимизации были установлены оптимальные режимы напыления износостойких покрытий на поверхности изношенных деталей оборудования, представленные в таблице – 1.

Результаты приведенных в статье исследований были использованы при разработке технологии нанесения износостойких покрытий при восстановлении рабочих поверхностей шнеков землеройных машин.

Таблица 1 – Оптимальные режимы напыления покрытий

Толщина покрытия, мм	Прочность сцепления, МПа	Мощность, кВт	Дистанция напыления, мм	Время напыления, с
0,30	27,75	25,0	100,5	11,50
0,35	27,50	24,9	100,5	18,25
0,40	27,00	24,9	101,0	24,50
0,45	26,57	24,9	99,0	29,10
0,50	25,60	23,8	97,0	30,00
0,55	24,85	22,4	94,5	30,00

Выводы. Для обеспечения стойкости покрытия к абразивному износу, получения покрытия, устойчивого к воздействию ударных нагрузок и с целью облегчения дальнейшей механической обработки покрытий, следует производить напыление композитного покрытия состоящего из порошковой смеси ПГ-СР3, с добавлением 20 % карбида титана с последующим оплавлением. Для уменьшения деформаций деталей, возникающих при термическом воздействии плазменной струи, установлен оптимальный состав плазмообразующего газа с содержанием азота до 35 %.

Список литературы

1. Жачкин С.Ю., Износостойкие покрытия для восстановления и изготовления деталей машин / С.Ю. Жачкин, М.В. Астахов // Технология металлов: Ежемес. производственный, научно-техн. и учебно-метод. журнал. Москва 2005 № 1 С. 40 – 43.

2. Жачкин С.Ю. Расчет напряжений в дисперсно-упрочненных композитных гальванических покрытиях / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, О.А. Сидоркин, С.В. Нелысов // Наука в центральной России. – 2016. - № 2. - С. 32 – 37.

3. Жачкин С.Ю. Повышение микротвердости дисперсно-упрочненных композитных покрытий на основе железа / С.Ю. Жачкин, С.В. Нелысов // Наука в центральной России. – 2016. - № 6. - С. 49 – 54.

References

1. Zhachkin S.Yu. Wear-resistant coating for the restoration and production of machine parts / S.Yu. Zhachkin, M.V. Astakhov // Technology of metal crystals: a monthly: Production, Scientific and Technical and teaching method. Journal. Moscow 2005 № 1 pp 40 - 43.

2. Zhachkin S.Yu. Calculation of stresses in the dispersion-strengthened composite plating coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, O.A. Sidorkin, S.V. Nelysov // Science in central Russia. - 2016. - № 2. - P. 32 - 37.

3. Zhachkin SYu. Increased microhardness dispersion-strengthened composite coatings based on iron / S.Yu. Zhachkin, S.V. Nelysov // Science in central Russia. - 2016. - № 6. - P. 49 - 54.

Отпечатано ООО «Максимал информационные технологии»
398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
Email: naukacr@yandex.ru. Тел. +7 (920) 246-20-64:
Подписано в печать 21.08.2017 Заказ № 60513-01
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать электрографическая.
Гарнитура Times. Объем – 15,82 усл. печ. л. Тираж 100 экз.