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

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

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

№ 3 (45), 2020 г.

Основанв 2012 г. **It is based in 2012.**

Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

Учредитель и издатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (**ФГБНУ ВНИИТИН**)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

АКИМОВ Михаил Юрьевич – директор ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», кандидат сельскохозяйственных наук

ГУЛЕВСКИЙ Вячеслав Анатольевич – проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, доцент

ДЕРКАНОСОВА Наталья Митрофановна – проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

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

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

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

КОСТЮЧЕНКОВ Николай Васильевич – профессор кафедры «Аграрная техника и технологии» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, действительный член Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор

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

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

НИКИТИН Александр Валерьевич – председатель попечительского совета Мичуринского государственного аграрного университета, профессор кафедры управления и делового администрирования ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», доктор экономических наук, профессор.

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – председатель редакционного совета, главный редактор журнала, врио директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

ЦОЙ Юрий Алексеевич – генеральный директор научно-производственного предприятия «Фемакс» (Москва), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации

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

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

Редакция

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

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

Главный редактор: Остриков В.В; заместители главного редактора: Корнев А.Ю., Сазонов С.Н.

№ 3 (45). Дата выхода в свет 30.06.2020. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2020

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 3 (45), 2020 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АНАШКИН Александр Витальевич – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

КАПУСТИН Василий Петрович – профессор кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

ОЖЕРЕЛЬЕВ Виктор Николаевич – профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

РОДИОНОВ Юрий Викторович – заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

ТИШАНИНОВ Николай Петрович – главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

ШАЦКИЙ Владимир Павлович – заведующий кафедрой «Математики и физики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

ШВАРЦ Анатолий Адольфович – профессор кафедры «Стандартизации и оборудования перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

ВАСИЛЕНКО Владимир Васильевич – профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

КНЯЗЕВА Лариса Геннадиевна – ученый секретарь ФГБНУ ВНИИТиН, доктор химических наук, доцент

КОРНЕВ Алексей Юрьевич – заместитель главного редактора журнала, заместитель директора ФГБНУ ВНИИТиН по научной работе, кандидат технических наук

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – ведущий научный сотрудник лаборатории альтернативных источников энергии взамен жидкого топлив ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

НАГОРНОВ Станислав Александрович – главный научный сотрудник лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

САЗОНОВ Сергей Николаевич – заместитель главного редактора журнала, главный научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

САФОНОВ Валентин Владимирович – заведующий кафедрой «Технический сервис и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – заведующий лабораторией использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Кузнецов В.В.
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ САДОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ 5
Фудин К.П., Терюшков В.П., Чупшев А.В., Коновалов В.В.
ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ БАРАБАНА СМЕСИТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО СМЕСИ 12
Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫХОДА И НОМЕРА ДЛИННОГО ЛЬНОВОЛОКНА ДЛЯ МЯЛЬНО-ТРЕПАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ 20
Завражнов А.И., Щербаков С.Ю., Лазин П.С., Ведищев С.М.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СУШКИ ПЛОДОВ БОЯРЫШНИКА В БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ 25
Балабанов В.И., Елесеев В.В., Солдатов П.Д., Бабанский И.В., Романенкова М.С.
БЕСПИЛОТНЫЕ МАШИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 31
Латышенок М.Б., Макаров В.А., Латышенок Н.М., Слободскова А.А., Ивашкин А.В.
ОСОБЕННОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗЕРНОВОЙ НАСЫПИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НА ХРАНЕНИИ В ГЕРМЕТИЧНОМ СИЛОСЕ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДОЙ 40
Башкирев А.П., Шварц А.А., Шершнев Н.С.
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГРЕБНЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ 47
Зазуля А.Н., Синельников А.А., Стрыгин С.П., Портянкин Г.Ю.
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ БИОМАССЫ ПОСЕВОВ СОИ СИСТЕМОЙ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА 52
Анашкин А.В., Тишанинов Н.П.
ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПШЕНИЦЫ С КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЛИННОЙ ПРИМЕСИ 60
Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Машков А.Н., Ламонов Н.Г.
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА ПОРОСЯТ 68
Доровских В.И., Милушев Р.К., Шулаев Г.М., Жариков В.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК 79
Воронин Н.В., Родионов Ю.В., Скоморохова А.И., Никитин Д.В., Галкин П.А., Филатов И.С.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ И ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА И КОРПУСА ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ИЗ ПОЛИМЕРОВ 85
Остриков В.В., Vigdorowitsch M., Сазонов С.Н., Забродская А.В.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ГРАФИТОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И ИХ РАБОТЫ В МЕХАНИЗМАХ 97
Князева Л. Г., Дорохов А.В., Урядников А.А.
ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛЬФАОЛЕФИНОВОГО МАСЛА 103
Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В.
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 112

CONTENTS

Kuznetsov V.
EQUIPMENT FOR LABORATORY RESEARCH OF WORKING ORGANS OF GARDEN SPRAYERS 5
Fudin K., Teryushkov V., Chupshev A., Konovalov V.
INFLUENCE OF THE ANGLE OF INSTALLATION OF THE MIXER DRUM ON THE QUALITY OF THE MIX 13
Koroleva E., Novikov E., Haitov N., Bezbabchenko A.
RESEARCH METHOD FOR FORECASTING OUTPUT AND LONG FLAX FIBER NUMBERS FOR KNEAD-SCUTCH UNITS 20
Zavrazhnov A., Scherbakov S., Lazin P., Vedishchev S.
DETERMINATION OF ENERGY INTENSITY OF HAWTHORN FRUIT DRYING IN DRUM DRYING PLANT 26
Balabanov V., Eleseev V., Soldatov P., Babansky I., Romanenkova M.
UNMANNED VEHICLES AND THEIR APPLICATION IN AGRICULTURE 32
Latyshenok M., Makarov V., Latyshenok N., Slobodskova A., Ivashkin A.
FEATURES OF VENTILATION OF THE GRAIN MAY STORED IN A SEALED SEAL BIND WITH A REGULATED AIR 41
Bashkirev A., Shvartz A., Shershnev N.
ANALYSIS OF THE OPERATION OF FIELD SPRAYERS 47
Zazulya A., Sinelnikov A., Strygin S., Portyankin G.
ANALYSIS OF THE DYNAMICS DEVELOPMENT SOYA'S BIOMASS WITH SATELLITE MONITORING SYSTEM 53
Anashkin A., Tishaninov N.
RELATIONSHIP BETWEEN THE QUALITY OF TRIER CLEANING OF WHEAT AND THE CONCENTRATION OFLONG IMPURITY 60
Tikhomirov D., Trunov S., Mashkov A., Lamonov N.
RATIONAL USE OF ELECTRICITY FOR LOCAL HEATING OF PIGLETS 68
Dorovskikh V., Milushev R., Shulaev G., Zharikov V.
USING A GENERIC FUNCTION THE HARRINGTON'S DESIRABILITY IN THE EVALUATION OF QUALITY OF FEED ADDITIVES 79
Voronin N., Rodionov Y., Skomorokhova A., Nikitin D., Galkin P., Filatov I.
THEORETICAL RESEARCHES OF CONTACT AND BENDING STRESSES OF THE BLADES OF THE IMPELLER AND THE HOUSING OF THE LIQUID RING VACUUM PUMP FROM POLYMERS 86
Ostrikov V., Vigdorowitsch M., Sazonov S., Zabrodskaya A.
THEORETICAL ASPECTS OF EVALUATING THE RINSING EFFICIENCY OF THE ICE LUBRICATION SYSTEM FROM POLLUTION 98
Knyazeva L., Dorokhov A., Uryadnikov A.
ANTI-CORROSION PROPERTIES OF COATINGS BASED ON POLYALPHAOLEFIN OIL ... 103
Nagornov S., Kornev A., Romantsova S.
WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF USING LIGHT OIL PRODUCTSIN AGRICULTURE 112

УДК 542.1:631.348.45
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-5-12

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ САДОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

[1]Кузнецов Владимир Васильевич
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Реферат. *Наряду с теоретическими исследованиями, компьютерным моделированием и натурными экспериментами по обоснованию оптимальных конструктивных и режимных параметров садовых опрыскивателей важное место занимает метод лабораторных исследований. Установлена необходимость разработки лабораторного оборудования, дающего возможность воспроизводить результаты, фиксировать уровень и управлять такими факторами, как скорость и направление воздушного потока, температура и влажность воздуха, микро- и мезорельеф почвы под колёсами, скорость движения агрегата. Кроме того, значительно снижается трудоёмкость и себестоимость исследований. Разработанные приводная станция и тележка на рельсах позволяют устанавливать в пределах 1…3 м/с скорость перемещения штанги садового опрыскивателя, либо одиночного распылителя вдоль макета ряда ягодных кустарников. Шарнирная штанга с площадкой, опорным колесом и дорожкой позволяют имитировать движение колёс опрыскивателя по неровностям с заданными характеристиками микрорельефа. Вентилятор и плоский вертикальный кожух с регулирующим жалюзийным устройством позволяют создавать скорость воздушного потока в зоне распыла в пределах 0,1…4 м/с, а также устанавливать различную его скорость на различных ярусах по высоте макета растений от 0,1 до 2м. Отдельные насосы, ёмкости и пульт управления, обеспечивают различное давление и различный цвет капель, образуемых соседними распылителями на штанге. Специальный макет позволяет имитировать пространственное расположение растений на плантации. Развешенные на растениях учётные карточки дают возможность фиксировать осаждение капель в различных зонах. В целом, разработанное лабораторное оборудование позволяет с минимальными затратами труда и средств осуществлять постановку многофакторных экспериментов, исследовать качество осаждения капель пестицидов на ряды садовой земляники и ягодных кустарников в зависимости от скорости ветра, характеристик микрорельефа поля, создаваемого давления, скорости движения агрегата, типа распылителей и их расположения на штанге.*

Ключевые слова: *рабочие органы опрыскивателей, качество работы, лабораторные исследования, лабораторное оборудование, функциональные возможности.*

EQUIPMENT FOR LABORATORY RESEARCH OF WORKING ORGANS OF GARDEN SPRAYERS

[1]Kuznetsov Vladimir
[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"

Abstract. *The method of laboratory research occupies an important place along with theoretical research, computer modeling and field experiments to justify the optimal design and operational parameters of garden sprayers. The necessity of developing laboratory equipment that makes it possible to reproduce the results, fix the level and control such factors as the speed and direction of the air flow, air temperature and humidity, the micro- and meso relief of the soil under the wheels, the speed of the unit. In addition, significantly reduces the complexity and cost of research. The developed drive station and the trolley on rails make it possible to set, within 1 ... 3 m / s, the speed of movement of the boom of a garden sprayer or a single sprayer along the layout of a number of berry bushes. The developed drive station and the trolley on rails make it possible to set, within 1 ... 3 m / s, the speed of movement of the boom of a garden sprayer or a single sprayer along the layout of a number of berry bushes. A hinged rod with a platform, a support wheel and a track make it possible to simulate the movement of the sprayer wheels along irregularities with the specified microrelief characteristics. A fan and a flat vertical casing with a regulating louvre device allow you to create an air flow rate in the spray zone within 0.1 ... 4 m / s,*

as well as set its different speed on different tiers along the height of the plant layout from 0.1 to 2 m. Separate pumps, tanks and control panel provide different pressure and different color of drops formed by neighboring sprayers on the rod. A special layout allows you to simulate the spatial location of plants on a plantation. Registration cards hung on plants make it possible to record the deposition of drops in different zones. In General, the developed laboratory equipment makes it possible to carry out multi-factor experiments with minimal labor and money, to study the quality of deposition of pesticide drops on rows of garden strawberries and berry bushes, depending on the wind speed, characteristics of the micro-relief of the field, the created pressure, the speed of the unit, the type of sprayers and their location on the rod.

Keywords: *working bodies of sprayers, quality of work, laboratory research, laboratory equipment, functionality.*

Введение. Химический метод защиты растений широко используется в современных технологиях возделывания полевых и садово-ягодных культур [1, 2, 3, 4, 5]. Основная доля пестицидов наносится на обрабатываемые объекты с помощью опрыскивателей.

Современные опрыскиватели являются сложными по конструкции, процессам функционирования и экологически опасными машинами, имеющими многочисленные каналы взаимодействия с окружающей средой и изменяющимися в процессе работы статико-динамическими параметрами [6].

На качество осаждения растворов пестицидов по поверхности обрабатываемых объектов и величину потерь в окружающую среду влияют как конструктивные, так и режимные параметры опрыскивающих агрегатов, которые определяются экспериментально [7]. Перспективным направлением повышения качества работы и экологической безопасности опрыскивателей является оптимизация их конструктивных и режимных параметров работы методом компьютерного моделирования [8].

В качестве исходных данных для компьютерных моделей используют результаты теоретических обоснований [9], натурных экспериментов в лабораторных и полевых условиях [6, 10].

Исследовать технологические процессы работы садовых опрыскивателей в полевых условиях достаточно трудно из-за неуправляемости многих факторов, влияющих на технологический процесс, плохой воспроизводимости результатов и трудностей при их регистрации. Такой характер внешних условий работы опрыскивателей значительно сужает число исследуемых в полевом эксперименте факторов, повышает трудоёмкость, себестоимость и существенно снижает достоверность полученных результатов. В таких обстоятельствах, необходимым элементом исследований является постановка дополнительных экспериментов в лабораторных условиях.

Цель статьи – разработка лабораторного оборудования для исследования рабочих органов опрыскивателей, способного создавать, воспроизводить в необходимом числе повторностей, фиксировать и управлять влияющими на качество работы опрыскивателей факторами, подобные действия с которыми в полевых экспериментах невозможны или трудоёмки и дорогостоящи.

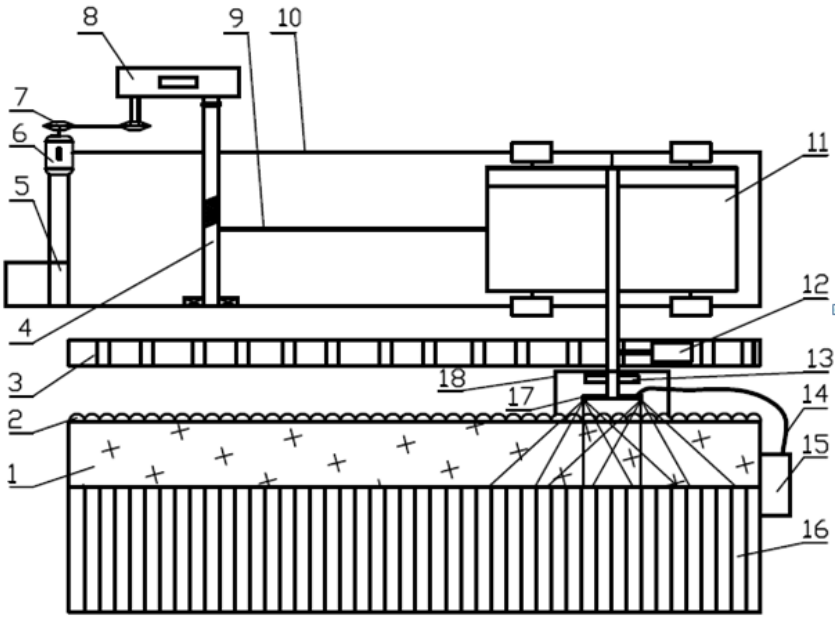
Выявлено, что для постановки лабораторных экспериментов применительно к опрыскивателям, имеется необходимость разработки лабораторного оборудования, дающего воспроизводимые в необходимом числе повторностей результаты по фиксированию и управлению такими факторами, как скорость и направление воздушного потока, температура и влажность воздуха, микро- и мезорельеф почвы под колёсами, скорость движения агрегата, и т.д.

Материалы и методы. Исходными данными при разработке оборудования для лабораторных исследований рабочих органов садовых опрыскивателей явились результаты измерений выполненных на посадках земляники садовой и малины, принадлежащих ВСТИП и крестьянско-фермерскому хозяйству «Ягодное в селе Кокино Выгоничского района Брянской области. Анализировалось пространственное расположение их вегетативной части [11], замерялся методом нивелирования профиль междурядий, определялся диапазон скоростей ветра. Учитывались также технические характеристики используемых опрыскивающих агрегатов, Проводился патентный поиск перспективных решений по конструкциям лабораторного оборудования [12, 13, 14].

Результаты и их обсуждение. Наиболее близким техническим решением явился стенд, состоящий из рельсовой дорожки с перемещаемой по ней с различной заданной скоростью тележки, размещённый в отапливаемом и вентилируемом помещении. На базе проанализированных исходных данных и патентного поиска разработано три варианта лабораторного оборудования в виде стендов.

Первый вариант стенда предназначен для сравнительных испытаний различных типов распылителей полевых и садовых опрыскивателей и защищён патентом [15]. Схема стенда показана на рисунке 1. Предлагаемый стенд позволяет:

- формировать макет ряда растений ягодных кустарников с пространственным расположением согласно результатам измерений, представленным в работе [11];
- устанавливать различные типы распылителей отечественных и зарубежных фирм и изменять их пространственную ориентацию относительно макета растений в вертикальном и горизонтальном направлениях;
- изменять и поддерживать заданную скорость перемещения распылителей относительно макета растений в соответствии с агротехническими требованиями и техническими характеристиками используемых на плантации опрыскивающих агрегатов;
- изменять скорость и направление воздушного потока в зоне работы распылителей;
- оценивать с помощью учётных карточек, развешенных на макет ряда растений, плотность покрытия каплями и их медианно-массовые характеристики;
- оценивать с помощью реберчатого стола 16 (рисунок 1) и блока мерных цилиндров 2 распределение массы выливаемой жидкости по ширине захвата распылителя или пары распылителей.



1 – макет ряда культурных растений на сетчатой основе; 2 – блок мерных цилиндров; 3 – дорожка с искусственными неровностями; 4 – вал; 5 – пульт управления; 6 – электродвигатель; 7 – цепная передача; 8 – двухскоростной редуктор; 9 – трос; 10 – рельсовая дорожка; 11 –тележка; 12 – опорный механизм; 13 – вентилятор; 14 – шланг; 15 – насосная станция; 16 – наклонный стол; 17 – распылители; 18 – поворотный воздушный канал.

Рисунок 1 – Стенд для испытания рабочих органов опрыскивателей в лабораторных условиях

При работе стенда насосная станция 15, включающая мембранно-поршневой насос и регулятор давления подает рабочую жидкость под различным давлением к распыляющему рабочему органу 17 и наносит на макет ряда культурных растений 1 при движении, тележки 11 по рельсовой дорожке 10 со скоростью от 1 до 3м/с. Формирование макета ряда культурных растений осуществлено на основе данных измерений, приведенных в [10]. Приводная станция, состоящая из пульта управления 5, электродвигателя 6, цепной передачи 7, двухскоростного редуктора 8, вала 4 и троса 9 обеспечивает различную скорость движения тележки.

Искусственные неровности дорожки 3 имеют форму части представительной реализации профиля поверхности поля в междурядьях исследованных плантаций. Например, в случае исследованной плантации садовой земляники, процесс изменения соответствующего ей профиля поверхности дорожки с искусственными неровностями, после центрирования, остационаривания и отфильтровывания неровностей макро и мезорельефа имеет вид случайного в статистическом смысле процесса (рисунок 2). При движении опорного механизма 12 по дорожке с неровностями такого характера формируются колебания распылителей, аналогичные колебаниям в полевых условиях.

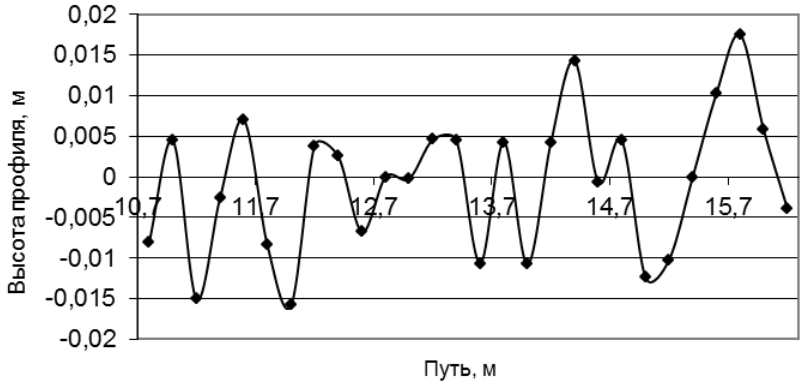


Рисунок 2 – Часть представительной реализации профиля поверхности дорожки с искусственными неровностями, соответствующая микропрофилю исследованной плантации в междурядьях земляники

Высота и углы наклона распылителей устанавливаются шарнирным механизмом его крепления к тележке. Макет ряда культурных растений создаётся по вариационным кривым длины растений (рисунок 3) и расположению стеблей и листьев культурных растений (рисунок 4), установленных на плантации экспериментально, согласно [11].

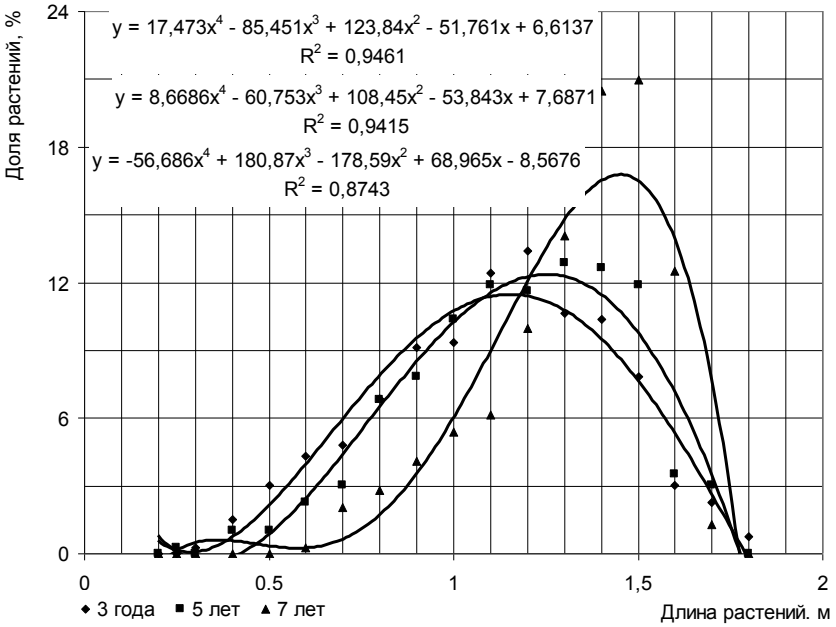


Рисунок 3 – Вариационные кривые длины растений малины сорта Гусар при сроке эксплуатации 3, 5 и 7 лет

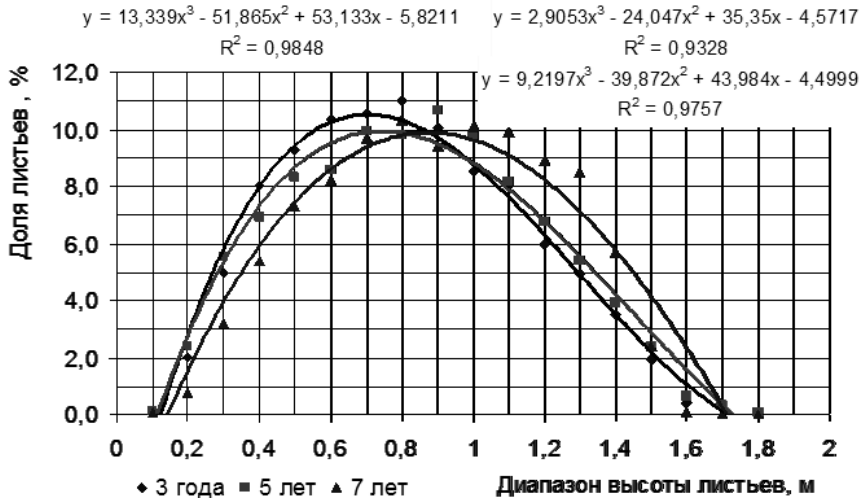
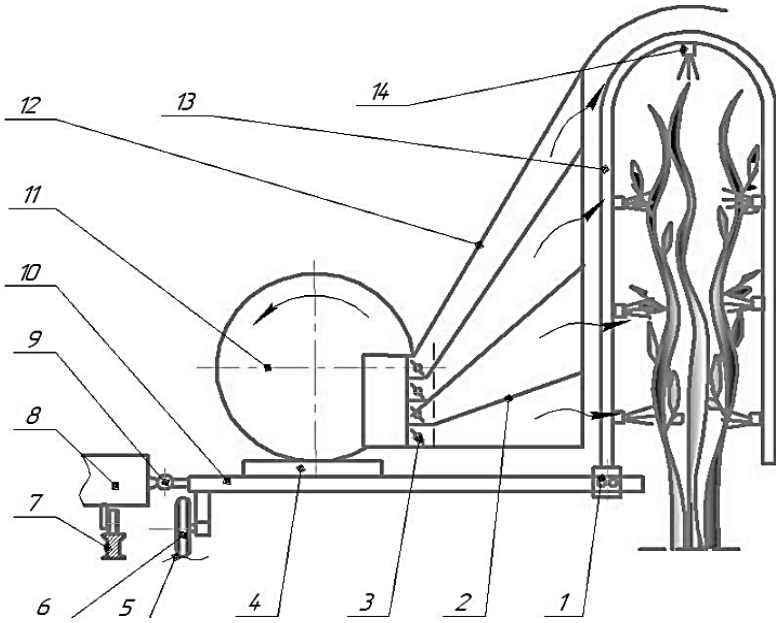


Рисунок 4 – Вариационные кривые высоты расположения листьев малины сорта Гусар при сроках использования 3, 5 и 7 лет

Для фиксирования дисперсности распыла и распределения капель по поверхности ряда использовали разложенные учетные карточки.

Для обеспечения заданных скорости и направления воздушного потока в зоне распыла изменяли частоту вращения вентилятора 13 и поворот воздушного канала 18.

Рабочие органы садовых опрыскивателей в виде вертикальных, арочных или Г-образных штанг изучали на специально разработанном втором варианте стенда (рисунок 5).



1 – кронштейн крепления вертикальных штанг; 2 – перегородки;
3 – регулируемые жалюзийные заслонки; 4 – площадка; 5 – дорожка с искусственными неровностями;
6 – опорное колесо; 7 - рельсовая дорожка; 8 – тележка; 9 – цилиндрический шарнир; 10 – балка;
11 – вентилятор; 12 – воздушный канал; 13 – вертикальная штанга; 14 – распылитель.

Рисунок 5 – Схема стенда для испытания вертикальных штанг садовых опрыскивателей.

Конструкция стенда, в отличие от показанной на рисунке 1, позволяет:

- присоединять, с помощью кронштейна, названные выше варианты штанг садовых опрыскивателей высотой до 2 м штанги;
- имитировать колебательные движения штанги, аналогичные движению агрегата по рельефу поля;
- создавать вертикальный воздушный поток по всей высоте вертикальной штанги садового опрыскивателя с несколькими распылителями;
- устанавливать скорость и направление воздушного потока, одинаковые по всей высоте штанги и ряда макета растений;
- устанавливать различающуюся скорость воздушного потока в отдельных ярусах по высоте штанги и рядка макета растений по плану эксперимента.

Работа стенда (рисунок 5) осуществляется следующим образом.

Насосная станция подает рабочую жидкость под различным давлением (в соответствии с планом эксперимента) к распылителям 14 вертикальной штанги 13. Она наносится при движении тележки 8 с заданной скоростью на макет рядка культурных растений. Перекатывание опорного колеса 6 по дорожке с искусственно созданными неровностями 5 принуждает балку 10 с находящимися на её площадке 4 вентилятором 11, воздушным каналом 12 и прикреплённой в кронштейне 1 штангой, совершать колебательные движения

Заданная скорость воздушного потока в зонах факелов распыла жидкости на различных ярусах макета растений регулируется в соответствии с планом эксперимента жалюзийными заслонками 3 на входе воздушного канала, перегородками 2 и контролируется с помощью анемометра в кустовой зоне макета растений.

Для фиксирования дисперсности распыла и распределения капель внутри макета растений используют развешенные на них учётные карточки.

Третий вариант стенда отличается от показанного на рисунке 5 тем, что на тележке 8 установлены две ёмкости с жидкостью разных цветов и две насосные станции. Насосные станции соединены шлангами с соответствующими емкостями и с распылителями штанги таким образом, что цвета жидкости соседних распылителей не совпадают.

Такая конструкция даёт возможность создания и осаждения на учётных карточках, в кустовой зоне макета растений, разноокрашенных капель для изучения взаимодействия капельных факелов соседних распылителей в зоне их перекрытия с целью оптимизации размещения распылителей на штанге по высоте и углам установки к направлению движения, согласно плану эксперимента.

Выводы. 1. Разработанное оборудование позволяет реализовать в лабораторных условиях многофакторные планы экспериментов по оптимизации конструктивно-режимных параметров рабочих органов опрыскивателей с такими изменяемыми параметрами, как скорость и направление воздушного потока, температура и влажность воздуха, микрорельеф почвы под колёсами, скорость движения агрегата.

2. Постановка экспериментов на разработанном лабораторном оборудовании позволяет обеспечить их воспроизводимость в необходимом числе повторностей, даёт возможность управлять неуправляемыми в полевых условиях факторами, устанавливать и фиксировать их уровень в соответствии с планом эксперимента. Кроме того, значительно снижается трудоёмкость и себестоимость исследований.

Список литературы

1 Лысов А.К. Совершенствование механизации опрыскивания растений // Защита и карантин растений. – 2003. – № 9. – С. 38-40.

2. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Совершенствование технологий применения средств защиты растений методом опрыскивания // Вестник защиты растений. – 2017. – № 2. — С. 50-53.

3. Белоус Н.М., Сычев В.Г., Шаповалов В.Ф., Белоус И.Н. Влияние длительного применения средств химизации на продуктивность плодосменного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы в условиях радиоактивного загрязнения // Плодородие. – 2013. – № 3 (72). – С. 1-3.

4. Ториков В.Е., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф. Перспективы развития садоводства в Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. – 2015. – № 5 (51). – С. 3-8.

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

6. Кузнецов А.В., Кузнецов В.В., Комогорцев В.Ф., Кузнецов Е.В. Определение положения центра масс и момента инерции опрыскивающего агрегата при изменении уровня жидкости в ёмкости // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ междунар. науч.-техн. конф. Брянск. – 2010. –С. 48-56.

7. Кузнецов Е.В. Повышение эффективности внесения гербицидов при возделывании малины путём разработки и обоснования конструктивно-режимных параметров опрыскивателя: дис. … канд. техн. наук / Чувашская ГСХА. – Чебоксары. – 2009.

8. Кузнецов А.В., Кузнецов В.В., Кузнецов Е.В. Исследование штанговых опрыскивателей как динамических систем методом имитационного моделирования // Достижения науки агропромышленному производству: материалы XLIV междунар. науч.-техн. конф. В 4-х ч. Челябинск: Изд-во Челябинский ГАУ. – 2005. – С. 262-267.

9. Орехова Г.В. Обоснование диссипативной энергии и обобщённых сил при движении штангового опрыскивателя в поперечно-вертикальной плоскости // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ междунар. науч.-техн. конф. – Брянск. – 2017. – С. 191-197.

10. Результаты экспериментального определения статико-динамических характеристик опрыскивателя ОПШ-15 // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2005. С. 29-34.

11. Кузнецов Е.В. Результаты исследования растений малины как входного фактора при работе опрыскивателя // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2009. С. 22-52.

12. Устройство для испытаний распылителей опрыскивателей: пат. 179647 Рос. Федерация: МПК A01M 7/00 / Киреев И.М., Коваль З.М., Зимин Ф.А., Новиков В.И.; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15.

13. Устройство для испытаний распылителей опрыскивателей: пат. 72814 Рос. Федерация: МПК A01M 7/00 / Киреев И.М., Коваль З.М., Нефёдов А.А.; опубл. 10.05.2008, Бюл. № 13.

14. Способ испытаний опрыскивателей и устройство для его осуществления: пат. 2236787 Рос. Федерация: МПК A01M 7/00 / Ковлягин Ф.В., Сыса В.И., Барсукова Н.В.; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 27.

15. Стенд для испытания рабочих органов опрыскивателей: пат. 74763 Рос. Федерация: МПК A01M 7/00 / Кузнецов Е.В., Ермичев В.А., Ожерельев В.Н., Кузнецов А.В., Кузнецов В.В.; опубл. 20.07.2008, Бюл. № 20.

References

1. Lysov A.K. Sovershenstvovanie mekhanizacii opryskivaniya rastenij // Zashchita i karantin rastenij. – 2003. – № 9. – S. 38-40.

2. Lysov A.K., Kornilov T.V. Sovershenstvovanie tekhnologij primeneniya sredstv zashchity rastenij metodom opryskivaniya // Vestnik zashchity rastenij. – 2017. – № 2. — S. 50-53.

3. Belous N.M., Sychev V.G., SHapovalov V.F., Belous I.N. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya sredstv himizacii na produktivnost' plodosmennogo sevooborota i plodorodie dernovo-podzolistoj pochvy v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya // Plodorodie. – 2013. – № 3 (72). – S. 1-3.

4. Torikov V.E., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F. Perspektivy razvitiya sadovodstva v Bryanskoj oblasti // Vestnik Bryanskoj GSKHA. – 2015. – № 5 (51). – S. 3-8.

5. Belous N.M., Evdokimenko S.N. Rezul'taty sotrudnichestva uchenyh Bryanskogo GAU i Kokinskogo opornogo punkta VSTISP po razvitiyu sadovodstva // Vestnik Bryanskoj GSKHA. – 2018. – № 1 (65). – S. 15-22.

6. Kuznecov A.V., Kuznecov V.V., Komogorcev V.F., Kuznecov E.V. Opredelenie polozheniya centra mass i momenta inercii opryskivayushchego agregata pri izmenenii urovnya zhidkosti v yomkosti // Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya: sb. nauch. rabot mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Bryansk. – 2010. –S. 48-56.

7. Kuznecov E.V. Povyshenie effektivnosti vneseniya gerbicidov pri vozdelyvanii maliny putyom razrabotki i obosnovaniya konstruktivno-rezhimnyh parametrov opryskivatelya: dis. … kand. tekhn. nauk / CHuvashskaya GSKHA. – CHeboksary. – 2009.

8. Kuznecov A.V., Kuznecov V.V., Kuznecov E.V. Issledovanie shtangovyh opryskivatelej kak dinamicheskih sistem metodom imitacionnogo modelirovaniya // Dostizheniya nauki agropromyshlennomu proizvodstvu: materialy XLIV mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. V 4-h ch. CHelyabinsk: Izd-vo CHelyabinskij GAU. – 2005. – S. 262-267.

9. Orekhova G.V. Obosnovanie dissipativnoj energii i obobshchyonnyh sil pri dvizhenii shtangovogo opryskivatelya v poperechno-vertikal'noj ploskosti // Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya: sb. nauch. rabot mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – Bryansk. – 2017. – S. 191-197.

10. Rezul'taty eksperimental'nogo opredeleniya statiko-dinamicheskih harakteristik opryskivatelya OPSH-15 // Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya: sb. nauch. rabot mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Bryansk, 2005. S. 29-34.

11. Kuznecov E.V. Rezul'taty issledovaniya rastenij maliny kak vhodnogo faktora pri rabote opryskivatelya // Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya: sb. nauch. rabot mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Bryansk, 2009. S. 22-52.

12. Ustrojstvo dlya ispytanij raspylitelej opryskivatelej: pat. 179647 Ros. Federaciya: MPK A01M 7/00 / Kireev I.M., Koval' Z.M., Zimin F.A., Novikov V.I.; opubl. 21.05.2018, Byul. № 15.

13. Ustrojstvo dlya ispytanij raspylitelej opryskivatelej: pat. 72814 Ros. Federaciya: MPK A01M 7/00 / Kireev I.M., Koval' Z.M., Nefyodov A.A.; opubl. 10.05.2008, Byul. № 13.

14. Sposob ispytanij opryskivatelej i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya: pat. 2236787 Ros. Federaciya: MPK A01M 7/00 / Kovlyagin F.V., Sysa V.I., Barsukova N.V.; opubl. 27.09.2004, Byul. № 27.

15. Stend dlya ispytaniya rabochih organov opryskivatelej: pat. 74763 Ros. Federaciya: MPK A01M 7/00 / Kuznecov E.V., Ermichev V.A., Ozherel'ev V.N., Kuznecov A.V., Kuznecov V.V.; opubl. 20.07.2008, Byul. № 20.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Кузнецов Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, с. Кокино, e-mail: vlg3k@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Vladimir Kuznetsov – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Kokino, e-mail: vlg3k@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 10.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 30.04.2020

УДК 631.363
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-12-19

ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ БАРАБАНА СМЕСИТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО СМЕСИ

[1]Фудин Константин Павлович
[1]Терюшков Вячеслав Петрович
[1]Чупшев Алексей Владимирович
[2]Коновалов Владимир Викторович

[1]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Реферат. *Изучали функциональные зависимости изменения качественных и энергетических показателей работы барабанного смесителя от угла наклона барабана и длительности смешивания компонентов. Описана конструкция барабанного смесителя, используемого для приготовления строительных смесей с изогнутыми внутренними лопастями. Разработана методика экспериментальных исследований промышленной бетономешалки применительно к приготовлению сухих кормовых концентрированных смесей. В качестве основных компонентов приготавливаемой смеси были использованы дерть пшеничная и ячменная (в соотношении 1:1) с плотностью вороха 620 кг/м^3.*

Получены квадратичные регрессионные модели в зависимости от угла наклона оси барабана и времени смешивания при доле контрольного компонента 1%. Установили, что наиболее значимо

влияние угла наклона оси вращения барабана смесителя. Уменьшение угла наклона барабана и увеличение длительности смешивания, улучшает качество смеси, а так же увеличивает энергоемкость процесса. При длительности обработки более 250-300 сек качество смеси практически не улучшается. Рост длительности смешивания линейно увеличивает энергозатраты. Для учета совместного влияния качества смеси и энергозатрат использован показатель корректированных энергозатрат и установлено соответствующее выражение. Тенденции изменения энергозатрат и корректированных энергозатрат сохраняются (принципиально не изменяются). Различаются только числовыми значениями. Минимальное значение неравномерности смеси достигает 19% при угле наклона барабана 17-19 град.

Ключевые слова: *барабанный смеситель; барабан, смесь, лопасти барабана*

INFLUENCE OF THE ANGLE OF INSTALLATION OF THE MIXER DRUM ON THE QUALITY OF THE MIX

[1]Fudin Konstantin
[1]Teryushkov Vyacheslav
[1]Chupshev Alexey
[2]Konovalov Vladimir

[1]FSBEI HE "Penza State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Penza State Technological University"

Abstract. *The functional dependence of changes in the quality and energy performance of the drum mixer on the angle of the drum and the duration of mixing of the components was studied. The design of the drum mixer used to prepare building mixtures with curved inner blades is described. The experimental research methodology of industrial concrete mixer in relation to the preparation of dry feed concentrated mixtures was developed. Wheat and barley grain, crushed by crushers (in the ratio 1: 1) was used as the main components of the prepared mixture. Quadratic regression models are obtained depending on the tilt angle of the drum axis and the mixing time at a fraction of the control component of 1%. It was found that the most significant effect of the angle of inclination of the axis of rotation of the mixer drum. Reducing the angle of the drum and increasing the duration of mixing improves the quality of the mixture, as well as increases the energy intensity of the process. The quality of the mixture practically does not improve with a processing time of more than 250-300 seconds. An increase in the duration of mixing linearly increases energy consumption. The indicator of corrected energy consumption was used to take into account the combined effect of the quality of the mixture and energy consumption and the corresponding expression was established. Trends in energy consumption and corrected energy consumption are saved (not fundamentally changed). Numerical values only differ. The minimum value of the unevenness of the mixture reaches 19% with a drum angle of 17-19 degrees.*

Keywords: *drum mixer; drum, mix, drum blades.*

Введение. Повышение конкурентной способности отечественного животноводства можно обеспечить в результате решения нескольких задач. К их числу относятся: снижение затрат на приобретение используемого оборудования (а соответственно снижение отчислений на них), повышение качества приготавливаемого корма (включая использование кормосмесей и повышение их качества), уменьшение энергозатрат на кормоприготовление.

Современное кормопроизводство и животноводство предусматривает использование комбикормов в качестве основного источника энергии и микроэлементов. Они приготавливаются на комбикормовых заводах. Для снижения их стоимости возможно применение в хозяйствах покупных белково-витаминных добавок и фуража собственного производства при приготовлении концентрированных смесей [1, 2, 3]. Доля БВД составляет 10-20%. Для приготовления подобных смесей требуется наличие смесителя, способного приготовить качественную смесь.

Обзор основных типов смесителей [4, 5, 6, 7] показал перспективность применения барабанных смесителей. Основными их достоинствами является как универсальность [8, 9], так и низкие энергозатраты [10, 11, 12].

Известны исследования [13, 14] оригинальных барабанных смесителей с обоснованием как их конструкции, так и влияния технологических параметров их работы. Однако, приобретение специализированных, а тем более оригинальной конструкции устройств высокозатратно.

Приобретение изделий массового производства более эффективно – их цена приобретения существенно ниже. Примером подобных конструкций являются барабанные бетономешалки, широко представленные в свободной продаже. Однако, основное их назначение – приготовление сухих и жидких строительных смесей. Исследования в данном направлении известны [15]. Как поведут себя указанные смесители на приготовлении концентратных кормосмесей с другими физико-механическими свойствами до конца не ясно.

Известны работы [16, 17] по данному направлению для смесителей марок Бетоносмеситель Кратон BeeTone 180, BeeTone 120, BeeTone 70 с объемом барабана 65-180 литров. Их лопасти представляют собой плоские элементы из двух прямых пластин, установленных на стойках под углом к оси вращения (рисунок 1).

а – общий вид

б – внутренний объем барабана с лопастями

Рисунок 1 - Бетоносмеситель Кратон BeeTone

Качественные кормосмеси, обеспечивающие соблюдение зоотребований, штатными смесителями авторам получить не удалось. Проведенные последующие исследования по совершенствованию конструкции лопастей и их расположения позволили решить указанную задачу [18]. К сожалению, указанные смесители имеют недостаточную производительность в силу малого объема барабана.

Барабанный смеситель марки BRAIT BR-260 также имеется в свободной продаже и обладает низкой стоимостью при покупке (рисунок 2).

а – внутренний объем барабана с лопастями

б – лопасть смесителя

Рисунок 2 – Бетоносмеситель BRAIT BR-260

Объем барабана 260 литров, что существенно увеличивает производительность устройства. Конструкция его двух лопастей существенно отличается от смесителей, приведенных выше. Она представляет собой расположенные на стойках пару Г-образных загнутых плоских пластин, в совокупности образующих крылья лопасти. На пластинах имеются прямоуголные отверстия. Угол взаиморасположения крыльев лопасти – 110 град. Исследования данного смесителя для приготовления комбикормов-концентратов неизвестны.

Целью исследований являлось выявление функциональной зависимости изменения качественных и энергетических показателей работы барабанного смесителя марки BRAIT BR-260 от угла наклона барабана и длительности смешивания.

Материалы и методы. При проведении экспериментальных исследований по выявлению влияния угла установки барабана смесителя и длительность смешивания на качество смеси использовалась методика, соответствующая требованиям СТО АИСТ 19.2-2008. Влияние указанных факторов на качество смеси определялось при доле контрольного компонента 1%. Количество проб – 20 шт. для определения неравномерности смеси ν, % – коэффициента вариации содержания контрольного компонента (зерна ячменя). Масса каждой взятой пробы – 100 гр. Основные компоненты приготавливаемой смеси – дерть пшеничная и ячменная (в соотношении 1:1) и плотностью вороха 620 кг/м^3. Также устанавливалось влияния указанных факторов на энергозатраты смесеобразования.

В процессе исследований изменялся угол установки барабана относительно горизонта α (град.): 15, 25 и 35°. Масса приготавливаемой смеси М соответственно составляет 40, 70 и 78 кг. Длительность смешивания компонентов Т в процессе эксперимента составляла 60, 180, 300, 600, 900 и 1200 сек. Прибором КИ-505 замерялась мощность привода *P*, Вт.

Энергоемкость приготовления смеси Y (Дж/кг) рассчитывалась:

$$Y = \frac{P \cdot T}{M}. \quad (1)$$

Учитывая, что при одной и той же длительности смешивания Т наблюдаются различные величины неравномерности смеси ν, определяли корректированную величину энергоемкости Y_k (Дж/кг):

$$Y_k = \frac{P \cdot T}{M \cdot (1 - 0.01 \cdot \nu)}. \quad (2)$$

Результаты проведенных исследований обрабатывались программой Statistica 5.5 с целью получения уравнений регрессии показателей от ранее указанных факторов.

Результаты и их обсуждение. Используя полученные экспериментальные результаты исследований и их регрессионной обработки, получено выражение неравномерности смеси с коэффициентом корреляции R = 0,92808, %:

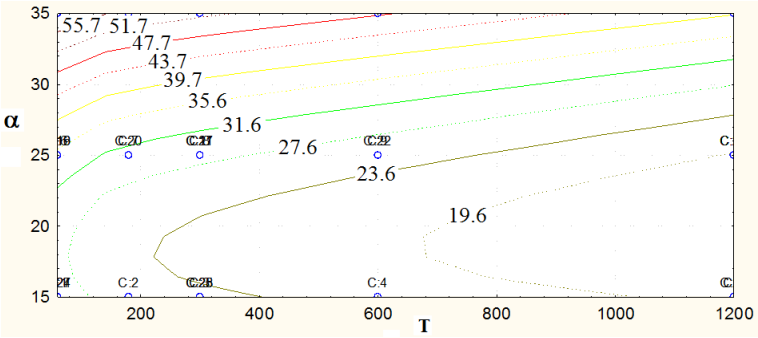
$$\nu = -27{,}09 + \frac{303{,}7325}{T} + \frac{603.292}{\alpha} - 0{,}0003781 \cdot T \cdot \alpha + 0{,}0533568 \cdot \alpha^2. \quad (3)$$

Расчетные значения неравномерности смеси хорошо соответствуют экспериментальным значениям (рисунок 3б). С увеличением длительности смешивания и уменьшения угла установки (рисунок 3а) улучшается качество смеси – уменьшается значение коэффициента вариации содержания контрольного компонента до 19%. С увеличением угла наклона барабана качество смеси резко ухудшается, особенно в начальный период, достигая 56%. Материал скапливается у днища наклонного барабана, фактически не перемешиваясь, что ухудшает качество смеси.

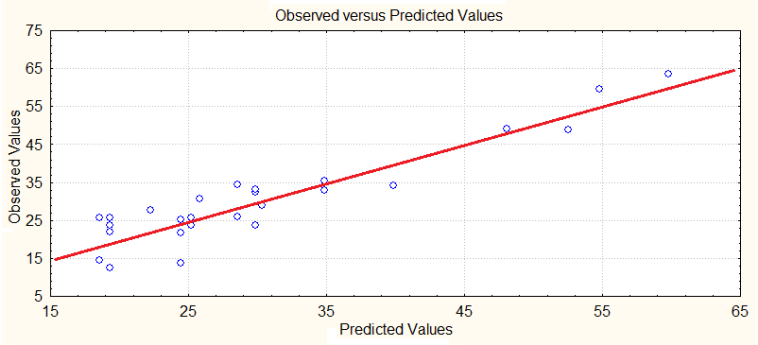
Энергоемкость смесеобразования описывается выражением (Дж/кг):

$$Y = 6347{,}7 + 16{,}62483 \cdot T - 568{,}45 \cdot \alpha + 11{,}369 \cdot \alpha^2 - 0{,}3556 \cdot T \cdot \alpha. \quad (4)$$

Значения коэффициента корреляции R=0,99201 и F-тест=0,976477 показывают хорошую адекватность полученной модели. Расчетные значения энергоемкости хорошо соответствуют экспериментальным значениям (рисунок 4б). С увеличением длительности смешивания и уменьшением угла установки барабана (рисунок 4а) возрастает энергоемкость смесеобразования. Наименьшие энергозатраты наблюдаются при увеличении угла наклона барабана вследствие уменьшения потребности подъема материала лопастями.

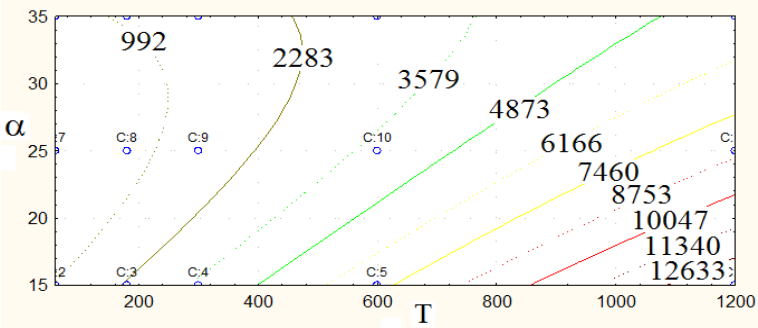


а) двумерное сечение неравномерности смеси ν (%)
в зависимости от длительности смешивания T (с) и угла установки емкости α (град.)

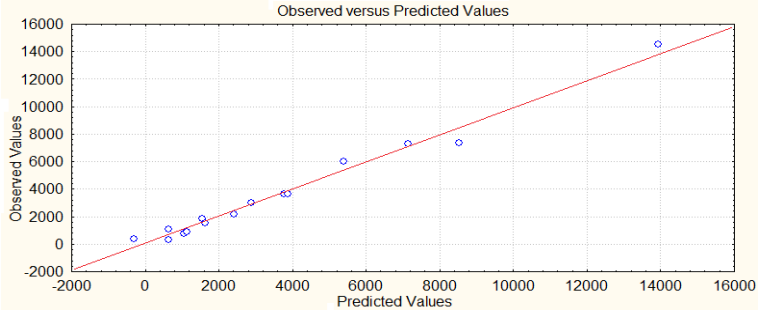


б) соответствие расчетных и опытных данных

Рисунок 3 – Результаты статистической обработки данных неравномерности смеси



а) двумерное сечение энергоемкости смесеобразования Y (Дж/кг)
в зависимости от длительности смешивания T (с) и угла установки емкости α (град.)



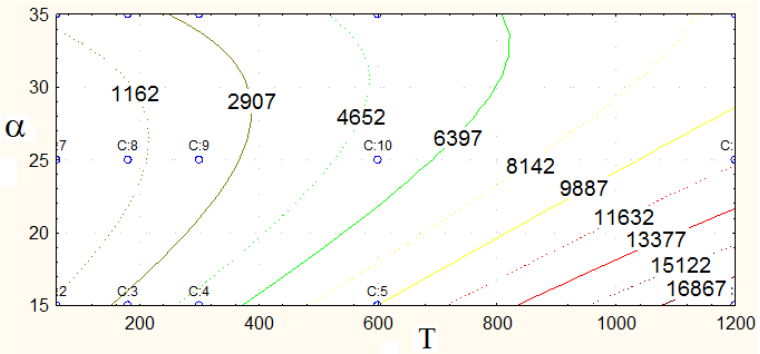
б) соответствие расчетных и опытных данных

Рисунок 4 – Результаты статистической обработки данных энергоемкости смесеобразования

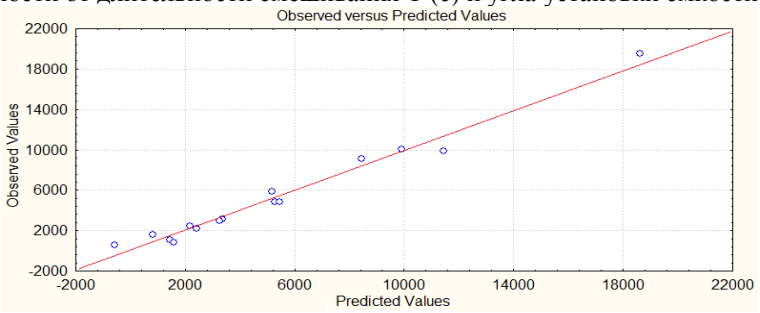
Для того чтобы учесть влияние качество смеси на энергозатраты введен показатель корректированных энергозатрат (Дж/кг) и получено соответствующее выражение (рисунок 5а):

$$Y_k = 10973 + 23{,}1 \cdot T - 1015{,}3 \cdot \alpha + 0{,}001 \cdot T^2 + 21 \cdot \alpha^2 - 0{,}4516 \cdot T \cdot \alpha. \quad (5)$$

Значения коэффициента корреляции R = 0,98955 и F-тест = 0,969206 показывают хорошую адекватность полученной модели. Расчетные значения скорректированной энергоемкости хорошо соответствуют экспериментальным значениям (рисунок 5б). Тенденции скорректированной энергоемкости и энергоемкости совпадают, несущественные различия лишь в числовых значениях (рисунки 4б и 5б).



а) двумерное сечение энергоемкости смесеобразования Yk (Дж/кг) в зависимости от длительности смешивания T (с) и угла установки емкости α (град.)



б) соответствие расчетных и опытных данных

Рисунок 5 – Результаты статистической обработки данных скорректированной энергоемкости смесеобразования

Заключение. Получены адекватные квадратичные регрессионные модели в зависимости от угла наклона оси барабана и времени смешивания при доле контрольного компонента 1 %. Уменьшение угла наклона барабана и увеличение длительности смешивания улучшает качество смеси, а так же существенно увеличивает энергозатраты. Минимальное значение неравномерности смеси достигает 19% при угле наклона барабана 17-19 град.

Список литературы

1. Сыроватка В.И. Стратегия развития машинных технологий производства комбикормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – № 2 (18). – С. 22-27.

2. Сыроватка В.И. Концепция развития технологий и средств механизации для производства комбикормов в хозяйствах // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – 2002. – Т. 11. – № 1. – С. 108-123.

3. Сыроватка В.И. Совершенствование технологических процессов производства комбикормов в хозяйствах // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2014. – № 1 (13). – С. 4-11.

4. Коновалов В.В., Новиков В.В., Азиаткин Д.Н., Грецов А.С. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 72-78.

5. Коновалов В.В., Курочкин А.А., Фролов Д.И. Методология проектирования смесителей-увлажнителей сыпучих пищевых продуктов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6 (22). – С. 189-196.

6. Коновалов В.В., Курочкин А.А., Мишин К.М. Устройство для внесения жира в концентрированные корма // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 5. – С. 12-13.

7. Ведищев С.М., Прохоров А.В., Завражнов А.И., Хольшев Н.И., Кажияхметова А.А. Исследование энергозатрат шнекового дозатора-смесителя // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – №2 (42). – С. 96-101.

8. Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Комаров С.С. Применение барабанного смесителя в линии производства йогуртного продукта // Молочная промышленность. – 2015. – № 12. – С. 20-21.

9. Андрюшков А.А., Сухоруков Д.В., Евграфова А.Б., Тиунова Н.В. Применение барабанного смесителя центробежного типа для получения сухих строительных смесей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 2 (132). – С. 31-38.

10. Селиванов Ю.Т., Першин В.Ф. Расчет барабанного смесителя непрерывного действия с упорядоченной загрузкой компонентов // Химическая промышленность сегодня. – 2009. – № 7. – С. 37-44.

11. Selivanov Yu.T., Pershin V.F. Experimental study of axial mixing in a drum mixer // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2004. – № 1 (38). – С. 99-101.

12. Нурмуханова А.З., Аканов Х.Г. Расчет полезной мощности, потребляемой барабанным смесителем // Труды Университета. – 2009. – № 3 (36). – С. 68-69.

13. L. Li, D. Wang, C. Li,, Z. Jiang, Z. Ping // Nongye Jixie Xuebao Design and Experimental Optimization of Combined-type Ration Mixer of Drum and Blade. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. – 2017. – № 48 (10). – С. 67-75.

14. L.Li, D.Wang, C.Li Mixing Process Analysis and Performance Experiment of Rotary Ration Mixer // Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. – 2017. – № 48 (8). – С. 123-132.

15. Y. Chen, F. Matalkah, R. Weerasiri, A. Balachandra Dispersion of Fibers in Ultra-High-Performance Concrete // Concrete International. – 2017. – С. 53.

16. Коновалов В.В., Димитриев Н.В., Кшникаткин С.А., Чупшев А.В. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем // Нива Поволжья. – 2013. – № 1 (26). – С. 46-50.

17. Петрова С.С., Кшникаткин С.А., Димитриев Н.В. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 67-72.

18. Коновалов В.В., Димитриев Н.В., Чупшев А.В., Терюшков В.П. Оптимизация параметров барабанного смесителя // Нива Поволжья. – 2013. – № 4 (29). – С. 41-47.

References

1. Syrovatka V.I. Strategiya razvitiya mashinnyh tekhnologij proizvodstva kombikormov // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. – 2015. – № 2 (18). – S. 22-27.

2. Syrovatka V.I. Koncepciya razvitiya tekhnologij i sredstv mekhanizacii dlya proizvodstva kombikormov v hozyajstvah // Nauchnye trudy GNU VNIIMZH Rossel'hozakademii. – 2002. – T. 11. – № 1. – S. 108-123.

3. Syrovatka V.I. Sovershenstvovanie tekhnologicheskih processov proizvodstva kombikormov v hozyajstvah // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. – 2014. – № 1 (13). – S. 4-11.

4. Konovalov V.V., Novikov V.V., Aziatkin D.N., Grecov A.S. Modelirovanie processa nepreryvnogo prigotovleniya smesi smesitelem-dozatorom ekstrudera // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2013. – № 3. – S. 72-78.

5. Konovalov V.V., Kurochkin A.A., Frolov D.I. Metodologiya proektirovaniya smesitelej-uvlazhnitelej sypuchih pishchevyh produktov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. – 2014. – № 6 (22). – S. 189-196.

6. Konovalov V.V., Kurochkin A.A., Mishin K.M. Ustrojstvo dlya vneseniya zhira v koncentrirovannye korma // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2002. – № 5. – S. 12-13.

7. Vedishchev S.M., Prohorov A.V., Zavrazhnov A.I., Hol'shev N.I., Kazhiyahmetova A.A. Issledovanie energozatrat shnekovogo dozatora-smesitelya // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2019. – №2 (42). – S. 96-101.

8. Borodulin D.M., Suhorukov D.V., Komarov S.S. Primenenie barabannogo smesitelya v linii proizvodstva jogurtnogo produkta // Molochnaya promyshlennost'. – 2015. – № 12. – S. 20-21.

9. Andryushkov A.A., Suhorukov D.V., Evgrafova A.B., Tiunova N.V. Primenenie barabannogo smesitelya centrobezhnogo tipa dlya polucheniya suhih stroitel'nyh smesej // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – № 2 (132). – S. 31-38.

10. Selivanov YU.T., Pershin V.F. Raschet barabannogo smesitelya nepreryvnogo dejstviya s uporyadochennoj zagruzkoj komponentov // Himicheskaya promyshlennost' segodnya. – 2009. – № 7. – S. 37-44.

11. Selivanov Yu.T., Pershin V.F. Experimental study of axial mixing in a drum mixer // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2004. – № 1 (38). – S. 99-101.

12. Nurmuhanova A.Z., Akanov H.G. Raschet poleznoj moshchnosti, potreblyaemoj barabannym smesitelem // Trudy Universiteta. – 2009. – № 3 (36). – S. 68-69.

13. L. Li, D. Wang, C. Li,, Z. Jiang, Z. Ping // Nongye Jixie Xuebao Design and Experimental Optimization of Combined-type Ration Mixer of Drum and Blade. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. – 2017. – № 48 (10). – S. 67-75.

14. L.Li, D.Wang, C.Li Mixing Process Analysis and Performance Experiment of Rotary Ration Mixer // Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. – 2017. – № 48 (8). – S. 123-132.

15. Y. Chen, F. Matalkah, R. Weerasiri, A. Balachandra Dispersion of Fibers in Ultra-High-Performance Concrete // Concrete International. – 2017. – S. 53.

16. Konovalov V.V., Dimitriev N.V., Kshnikatkin S.A., CHupshev A.V. Obosnovanie ugla ustanovki emkosti i dlitel'nosti peremeshivaniya suhih smesej barabannym smesitelem // Niva Povolzh'ya. – 2013. – № 1 (26). – S. 46-50.

17. Petrova S.S., Kshnikatkin S.A., Dimitriev N.V. K voprosu opredeleniya kachestva smesi u barabannogo smesitelya // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2012. – № 3. – S. 67-72.

18. Konovalov V.V., Dimitriev N.V., CHupshev A.V., Teryushkov V.P. Optimizaciya parametrov barabannogo smesitelya // Niva Povolzh'ya. – 2013. – № 4 (29). – S. 41-47.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Фудин Константин Павлович – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», Россия, г. Пенза, e-mail: kpfudin@yandex.ru.

Терюшков Вячеслав Петрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», Россия, г. Пенза, e-mail: tvp141@mail.ru.

Чупшев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», Россия, г. Пенза, e-mail: chupshev.a.v@pgau.ru.

Коновалов Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», Россия, г. Пенза, e-mail: konovalov-penza@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Fudin Konstantin – Senior Lecturer of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: kpfudin@yandex.ru.

Teryushkov Vyacheslav – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: tvp141@mail.ru.

Chupshev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Agrarian University”, Russia, Penza, e-mail: chupshev.a.v@pgau.ru.

Konovalov Vladimir – Doctor of Technical Sciences, Professor of of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State Technological University”, Russia, Penza, e-mail: konovalov-penza@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.05.2020

УДК 677.027
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-20-25

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫХОДА И НОМЕРА ДЛИННОГО ЛЬНОВОЛОКНА ДЛЯ МЯЛЬНО-ТРЕПАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

[1]Королева Евгения Николаевна
[1,2]Новиков Эдуард Валерьевич
[2]Хаитов Нурулло Хабибуллоевич
[1]Безбабченко Александр Владиславович
[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»
[2]ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Реферат. *Исследовали два существующих способа переработки льнотресты, которые реализованы в лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ-500 и в малогабаритном промышленном мяльно-трепальном агрегате АЛС-1. Для исследований взяли льнотресту семи селекционных сортов нормальной степени вылежки урожая 2017 года, которые перед переработкой на СМТ-500 и АЛС-1 были обезличены и обозначены типами. После переработки льнотресты определяли количество, качество длинного волокна и качество льнотресты. Обработка экспериментальных данных двухгодичных исследований однофакторным дисперсионным анализом показала, что при доверительной вероятности 0,95 переработка льнотресты в СМТ-500 или в АЛС-1 существенно отличается по выходу длинного волокна. Результаты двухлетних исследований показали, что выход длинного волокна после станка СМТ-500 завышен на 3-4 % (абс.) в сравнении с агрегатом АЛС-1. Уточнен корректирующий коэффициент для определения фактического выхода длинного льноволокна по результатам лабораторной переработки. Проверен ранее разработанный способ определения того, на сколько номеров завышен номер тресты и длинного волокна в станке СМТ-500 в сравнении с АЛС-1, которое в представленных исследованиях для номера льнотресты составило 2-4 номера, для длинного льноволокна − 3 номера. Приведены уточненные рекомендации для фактического определения выхода льна, номера длинного волокна в АЛС-1 и номера льнотресты по результатам ее переработки на станке СМТ-500.*

Ключевые слова: *количество волокна, номер, льнотреста, длинное волокно, станок СМТ-500, мяльно-трепальный агрегат АЛС-1.*

RESEARCH METHOD FOR FORECASTING OUTPUT AND LONG FLAX FIBER NUMBERS FOR KNEAD-SCUTCH UNITS

[1]Koroleva Evgenia
[1,2]Novikov Eduard
[2]Haitov Nurullo
[1]Bezbabchenko Aleksandr
[1] FSBRI "Federal Research Center for Bast Fiber Crops"
[2]FSBEI HE "Kostroma State University"

Abstract. *We studied two existing methods of processing flax treads, which are implemented in the laboratory grinding and grinding machine SMT-500 and in the small-sized industrial grinding and grinding machine ALS-1. For research, we took a flock of seven breeding varieties of a normal degree of maturing of the 2017 harvest, which, before processing on SMT-500 and ALS-1, were depersonalized and indicated by types. The quantity, quality of long fiber and the quality of flax trusts were determined after processing flax trusts. Processing of experimental data from two-year studies by one-way analysis of variance showed that, with a confidence level of 0.95, flax processing in SMT-500 or in ALS-1 significantly differs in the yield of long fiber. The results of two years of research showed that the yield of long fiber after the SMT-500 machine is overestimated by 3-4 % (abs.) In comparison with the ALS-1 unit. The correction factor for determining the actual yield of long flax fiber according to the results of*

laboratory processing has been clarified. A previously developed method for determining how many numbers the number of trusts and long fibers in the SMT-500 machine compared to ALS-1 was tested, which in the presented studies for the number of flax trusts was 2-4 numbers, for long flax fiber - 3 numbers. Refined recommendations for the actual determination of flax yield, long fiber numbers in ALS-1 and flax trust numbers according to the results of its processing on the SMT-500 machine are given.

Keywords: *fiber quantity, number, flax trust, long fiber, SMT-500 machine, ALS-1 milling and bobbing machine.*

Введение. Значительное увеличение количества длинного льноволокна и качества тресты в станке мяльно-трепальном (далее СМТ) в сравнении с мяльно-трепальным агрегатом (далее МТА) отмечено в [1, 2]. Однако в этих работах не исследовался промышленный малогабаритный мяльно-трепальный агрегат марки АЛС-1, поэтому в исследованиях [3, 4] впервые сравнили переработку в лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ-500, применяемы для оценки качества льносырья по стандарту и агрегат АЛС-1. В них экспериментально показано получение более высокого выхода длинного волокна в СМТ-500, чем в агрегате АЛС-1.

Для прогнозирования выхода длинного льноволокна как наиважнейшего показателя работы необходимо уже на ранней стадии, т.е. на стадии заготовки льносырья необходимо знать фактический выход длинного волокна льнозавода с достаточной достоверность, который будет получен в дальнейшем при работе предприятия. Другими словами по результатам переработки – оценки льнотресты на лабораторном станке СМТ-500, достоверно определить фактический выход длинного льноволокна для планирования технико-экономических показателей предприятия на год.

В связи с этим при планировании производства волокна могут быть существенно завышены технико-экономические показатели работы льнозавода, т.к. способ переработки в СМТ-500 более щадящий – более дифференцирован и периодического действия. Для исключения этого предложена методика определения того, на сколько номеров завышен номер льнотресты в СМТ-500 в сравнении с агрегатом АЛС-1 и обоснован примерный коэффициент для расчета выхода длинного волокна в АЛС-1, используя результаты переработки тресты на станке СМТ-500.

Исходя из вышеизложенного, было принято решение о продолжении экспериментов по исследованию и накоплению опытных статистических данных для обоснования более достоверного корректирующего коэффициента прогнозирующего выход и номер трепаного льна, а также номер льнотресты.

Цель исследований – обоснование корректирующего коэффициента для прогнозирования выхода трепаного льна и проверка способа прогнозирования номера льнотресты и трепаного льна по результатам переработки в станке СМТ-500.

Для достижения поставленной цели необходимо:

– продолжить исследования на льнотресте, выращенной в разные годы, в СМТ и агрегате АЛС-1 на выход, номер волокна и номер льнотресты;

– обосновать (уточнить) достоверный корректирующий коэффициент для определения фактического выхода длинного льноволокна по результату лабораторной обработки;

– проверить способ прогнозирования выхода, номера трепаного льна и номера льнотресты на результатах исследований 2020 года.

Материалы и методы. Для продолжения исследований 2019 года [3, 4] взята льнотреста семи селекционных сортов нормальной степени вылежки урожая 2017 года, которые перед переработкой на СМТ-500 и АЛС-1 были обезличены и обозначены типами. Подготовка сырья к переработке проводилась аналогично работам [3, 4]. По ГОСТ 24383-89, ГОСТ Р. 53143-2008 отбирались по 20 горстей, выравнивались по комлям, разделялись на две группы по 10 горстей, одна из которых по одной горсти перерабатывалась в СМТ-500, другая – в агрегате марки АЛС-1. Вращение трепальных барабанов в АЛС-1 составляло 250 об/мин, скорость транспортирования тресты 20 м/мин.

В эксперименте анализировались: выход и номер длинного волокна, номер льнотресты. Длинное волокно оценивалось по ГОСТ 10330-76 «Лен трепаный» по изменению № 4.

Результаты и их обсуждение. Данные исследований представлены на рисунке 1 и в таблицах 1 – 3.

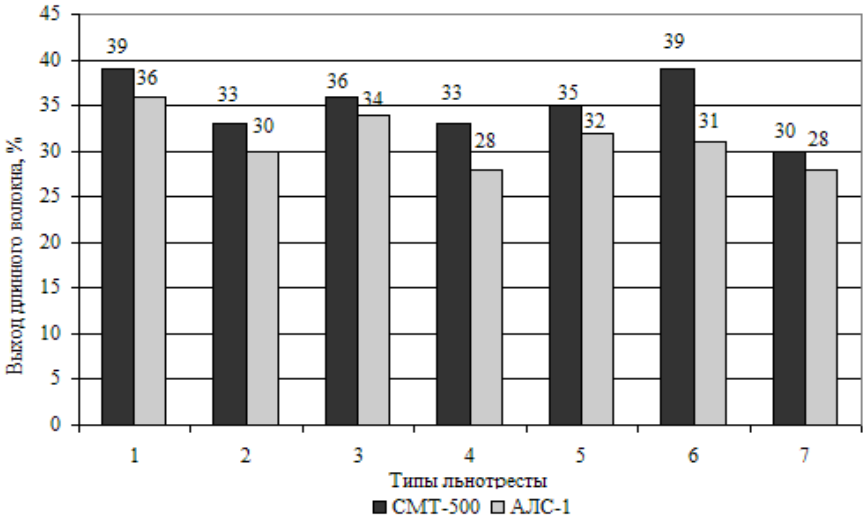


Рисунок 1 − Выход льноволокна

Таблица 1 − Разница значений выхода длинного льноволокна в % (абс.), полученного на СМТ-500 и в АЛС-1 из тресты различных лет и типов ($\Delta = B_{СМТ-500}-B_{АЛС-1}$)

Тип тресты	Урожай тресты 2017 г.	Урожай тресты 2018 г. [3]
1	3	2
2	3	6
3	2	3
4	5	4
5	3	6
6	8	2
7	2	1
8	-	2
9	-	3
Среднее	4	3

Выход длинного волокна из льнотресты урожая 2017 года на станке СМТ-500 изменяется от 30 % до 39 %, в АЛС-1 – от 28 % до 36 % (рисунок 1). В СМТ-500 он выше в среднем на 4 % (абс.) (таблица 1) в зависимости от типа (сорта) льнотресты и это изменение может варьироваться от 2 % до 8 % (абс.). Из льнотресты урожая 2018 года, перерабатываемой в 2019 году [3], изменения выхода волокна составили на СМТ-500 – 28-32 %, на АЛС-1 – 21-31 %. В среднем в СМТ-500 выход волокна выше на 3 % (абс.) (таблица 1). В итоге для определения фактического выхода волокна в АЛС-1, необходимо выход после СМТ-500 перемножить на уточненный коэффициент, равный 0,89. Указанное значение коэффициента получено путем деления выхода длинного волокна, после СМТ-500 на выход волокна после АЛС-1. Такое же значение коэффициента было получено в исследованиях прошлого года [3].

Обработка экспериментальных данных двухгодичных исследований однофакторным дисперсионным анализом показала, что при доверительной вероятности 0,95 способ переработки льнотресты в СМТ-500 или АЛС-1 оказывает существенное влияние на выход длинного волокна.

Ранее в 2019 году [3] предложен способ (методика) определения того, завышен ли и насколько завышен номер льнотресты и трепаного льна в станке СМТ-500 в сравнении с агрегатом АЛС-1. Из указанных исследований на тресте девяти типов методика показала, что номер льнотресты завышен на 2-4, номер волокна – на 1-3 номера.

Проверим разработанный способ (методику), используя исследования настоящей статьи, т.е. 2020 года на семи типах льнотресты. Для этого определен фактический номер льнотресты и номер трепаного льна после агрегата АЛС-1 для семи типов тресты (таблицы 2 и 3).

Таблица 2 − Номер трепаного льна после агрегата АЛС-1

Тип тресты	Урожай льнотресты 2017 г.	Урожай льнотресты 2018 г. [3]
1	13	11
2	13	12
3	12	12
4	11	11
5	11	11
6	14	12
7	14	11
8	-	11
9	-	13

Таблица 3 − Фактический номер льнотресты, полученный на СМТ-500 и номер льнотресты по нормам выработки

Тип тресты	Урожай льнотресты 2017 г.		Урожай льнотресты 2018 г. [3]	
	СМТ-500	по нормам*	СМТ-500	по нормам*
1	3,00	1,75	2,50	1,25
2	2,50	1,75	2,50	1,50
3	2,50	1,50	2,50	1,50
4	2,50	1,25	2,50	1,25
5	2,50	1,25	2,50	1,25
6	3,00	2,00	2,50	1,50
7	2,00	2,00	2,00	1,25
8	-	-	2,50	1,25
9	-	-	2,50	1,75

* *из [5] по номеру длинного льноволокна после АЛС-1, представленному в таблице 2.*

По номеру льнотресты после станка СМТ-500 из норм выработки длинного и короткого льноволокна [5], определим, каким должен получиться номер длинного волокна (таблица 4).

Таблица 4 − Выход и номер длинного льноволокна в зависимости от номера льнотресты [5]

Номер тресты	Выход, %	Номер
1,25	11,9	11,55
1,50	13,4	12,45
1,75	14,8	13,35
2,00	16,2	14,25
2,50	17,7	15,15
3,00	19,1	16,05

Для наших номеров льнотресты 2,00; 2,50 и 3,00 (таблица 3) номер длинного волокна составляет 14,25; 15,15 и 16,05 соответственно (таблица 4, по стрелкам слева направо), а фактически в АЛС-1 он значительно ниже и составляет 11-14 (таблица 2), аналогично получилось и в работах [3, 4].

Например, для типа тресты 1 (урожай 2017 года) номер тресты 3,00 (таблица 3), номер трепаного волокна 13 (таблица 2). Далее по нормам из таблицы 4 определим номер трепаного льна для номера льнотресты 3,00, который составляет 16,05, т.е. номер трепаного льна завышен на 3 номера, аналогично получилось и в работах [3, 4].

По тем же нормам выработки (таблица 4), по номеру волокна в мяльно-трепальном агрегате АЛС-1, определим номер льнотресты, путем движения от номера волокна к номеру тресты. В результате получим следующие номера тресты 1,25, 1,50, 1,75 и 2,00, а в СМТ-500 получены – 2,00, 2,50 и 3,00 (таблица 3), т.е. номер льнотресты в АЛС-1 на 2-4 номера ниже, чем в СМТ-500. Поэтому для определения фактического номера тресты для АЛС-1 нужно номер, полученный на СМТ-500, снизить на 2-4 номера, аналогично получилось и в работах [3, 4].

В итоге проверка разработанного ранее способа (методики) определения того, завышен ли и насколько завышен номер льнотресты и трепаного льна в станке СМТ-500 в сравнении с агрегатом АЛС-1 на семи типах льнотресты показала его работоспособность.

Выводы.

1. Продолжены сравнительные исследования двух существующих способов переработки льнотресты, которые реализованы в лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ-500 и в малогабаритном промышленном мяльно-трепальном агрегате АЛС-1, на семи типах льнотресты.

2. Проверен ранее разработанный способ-методика определения того, на сколько номеров завышены номера льнотресты и волокна в лабораторном станке СМТ-500 перед промышленным агрегатом АЛС-1, которое в представленных и ранее проведенных исследованиях составило 2-4 для номера тресты и 3 для номера длинного волокна.

3. Установлено, что разница между значениями выхода длинного волокна в исследованном оборудовании может достигать в среднем 3-4 % (абс.).

Список литературы

1. Виноградова А.Е, Пашин Е.Л. Сравнительный анализ подготовки льняной тресты перед обработкой на станке СМТ-500 и мяльно-трепальном агрегате // Вестник ВНИИЛК. – 2003. – №1. – С. 79-82.

2. Пашин Е.Л., Куликов А.В., Румянцева И.А., Виноградова А.Е., Разумеев В.К. Инструментальные системы оценки технологического качества льна: монография. – Одинцово: АНОО ВПО «ОГИ», 2010. – С. 224.

3. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В. Прогнозирование выхода и номера трепаного льна по результатам лабораторной переработки льнотресты // Наука в Центральной России. − 2019. − № 4 (40). − С. 44-49.

4. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В. Влияние способов переработки льнотресты на выход и качество трепаного льна // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – Вып. 3 (179). – С 68-72.

5. Типовые нормы выработки для рабочих основного производства заводов первичной переработки льна. – М.: Изд-во Минск. − 1988. – С. 38.

References

1. Vinogradova A.E, Pashin E.L. Sravnitel`ny`j analiz podgotovki l`nyanoj tresty` pered obrabotkoj na stanke SMT-500 i myal`no-trepal`nom agregate // Vestnik VNIILK. – 2003. – №1. – S. 79-82.

2. Pashin E.L., Kulikov A.V., Rumyanceva I.A., Vinogradova A.E., Razumeev V.K. Instrumental`ny`e sistemy ocenki texnologicheskogo kachestva l`na: monografiya. – Odinczovo: ANOO VPO «OGI», 2010. – S. 224.

3. Koroleva E.N., Novikov E.D., Haitov N.H., Bezbabchenko A.V. Prognozirovanie vyhoda i nomera trepanogo l`na po rezyl`tatam laboratornoj pererabotki l`notresty // Nauka v Central`noj Rossii. − 2019. − № 4 (40). − S. 44-49.

4. Koroleva E.N., Novikov E.D., Haitov N.H., Bezbabchenko A.V. Vliyanie sposobov pererabotki l`notresty na vyhod i kachestva trepanogo l`na // Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten' Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnyh kul'tur. – 2018. – Vyp. 3 (179). – S. 68-72.

5. Tipovye normy vyrabotki dlya rabochix osnovnogo proizvodstva zavodov pervichnoj pererabotki l`na. – M.: Izd-vo Minsk. − 1988. – S. 38.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Королева Евгения Николаевна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: e.koroleva@fnclk.ru.

Новиков Эдуард Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией переработки лубяных культур Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Хаитов Нурулло Хабибуллоевич – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственный университет», Россия, г. Кострома, e-mail: khaitov_7375@mail.ru.

Безбабченко Александр Владиславович – руководитель структурного подразделения, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Koroleva Evgenia – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: e.koroleva@fnclk.ru.

Novikov Eduard – candidate of technical sciences, associate professor, head of the bast processing laboratory of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Khaitov Nurullo – graduate student of Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Kostroma State University", Russia, Kostroma, e-mail: khaitov_7375@mail.ru.

Bezbabchenko Alexander – head of the structural unit, senior researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания 0477-2019-0005

Поступила в редакцию (Received): 24.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.06.2020

УДК 66.047.38
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-25-31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СУШКИ ПЛОДОВ БОЯРЫШНИКА В БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

[1,2,3]Завражнов Анатолий Иванович
[2]Щербаков Сергей Юрьевич
[2]Лазин Павел Сергеевич
[1]Ведищев Сергей Михайлович

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Эффективным технологическим процессом в пищевой промышленности, сохраняющим биохимический состав, питательные свойства сырья является сушка пищевого продукта. Разработан и представлен, общий вид барабанной сушилки, которая позволяет существенно увеличить производительность и повысить качество процесса сушки. Процесс сушки осуществляется с помощью нагретого воздуха при подаче с двух сторон, при температуре 55 – 60°С. Использовали многофакторный эксперимент. В план исследований включили следующие факторы: скорость подачи воздуха, коэффициент заполнения барабана, частоту вращения мешалки. Было получено уравнение регрессии, проверку которого и построение поверхности отклика осуществили с помощью программы Statistica 100 на ПК. Экспериментально исследовали показатели энергоемкости процесса сушки. Базовым для изучения энергоэффективности сушки плодов боярышника был выбран показатель удельного расхода электроэнергии, который достаточно легко регулируется и имеет четкую область определения. Установлено изменение удельного расхода электроэнергии в диапазоне 1,75 – 1,92 кВт·ч/кг при изменении частоты вращения мешалки в диапазоне 10 – 30 об/мин, а скорости подачи воздуха в диапазоне 1 – 3 м/с при температуре воздуха 60 °С. Определены рекомендуемые значения следующих параметров, обеспечивающих наиболее энергосберегающий режим при сохранении высокого качества готового продукта: - скорость подачи воздуха – 2,5м/с; коэффициент заполнения барабана – 0,25; частота вращения мешалки – 20 об/мин данным значениям параметров соответствует удельный расход электроэнергии равный 1,83 кВт*ч/кг испаренной влаги.*

Ключевые слова: *барабанная сушилка; перемешивание; сушка; плоды; энергоемкость; лопастная мешалка.*

DETERMINATION OF ENERGY INTENSITY OF HAWTHORN FRUIT DRYING IN DRUM DRYING PLANT

[1,2,3]***Zavrazhnov Anatoly***
[2]***Scherbakov Sergey***
[2]***Lazin Pavel***
[1]***Vedishchev Sergei***

[1]*FSBEI HE "Tambov state technical university"*
[2]*FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"*
[3]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

Abstract. *An effective technological process in the food industry that preserves the biochemical composition and nutritional properties of raw materials is the drying of a food product. A general view of the drum dryer, which allows to significantly increase productivity and improve the quality of the drying process, is developed and is presented. The drying process is carried out using heated air when supplied from two sides, at a temperature of 55 – 60 ° C. A multivariate experiment was used. The following factors were included in the research plan: air flow rate, drum fill factor, stirrer speed. The regression equation, the verification of which and the construction of the response surface was carried out using the Statistica 100 program on a PC, was obtained. The energy intensity of the drying process was experimentally investigated. The basis for studying the energy efficiency of drying the fruits of hawthorn was selected indicator of specific energy consumption, which is quite easily regulated and has a clear definition area. The change in specific electric energy consumption was set in the range of 1.75 – 1.92 kW · h / kg with a change in the frequency of rotation of the mixer in the range of 10-30 rpm, and the air supply speed in the range of 1 – 3 m / s at an air temperature of 60 °C. Recommended values of the following parameters providing the most energy-saving mode while maintaining the high quality of the finished product: - air flow rate – 2.5m / s; drum fill factor – 0.25; the stirrer rotation speed – 20 rpm; these values of the parameters correspond to a specific power consumption of 1.83 kW * h / kg of evaporated moisture were determined.*

Keywords: *drum dryer; hashing; drying; fruits; power consumption; bladed mixer.*

Введение. Потребности населения в широком ассортименте высококачественной продукции, сохраняющей высокие биологические свойства на протяжении всего года при их ярко выраженной сезонности достаточно сложно удовлетворить. Площади выращивания плодово-ягодного сырья постоянно увеличиваются, объемы производства значительны, необходимость качественной переработки велика.

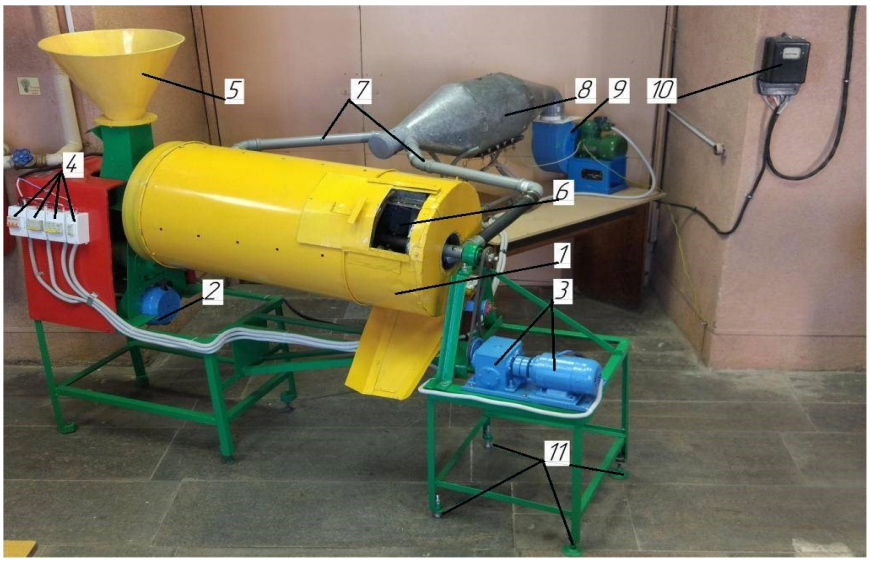
Длительное хранение плодов и ягод в натуральном виде в обычных условиях невозможно, так как в процессе хранения в плодах и ягодах происходит развитие различных плесневых грибов и патогенной микрофлоры, что приводит к порче продукта [1].

В настоящее время существуют различные способы переработки растительного сырья, такие как, сушка, замораживание, экстрагирование и т.д. Сушка, как один из традиционных эффективных технологических процессов, сохраняющих биохимический состав и полезные свойства пищевых продуктов, в значительной мере определяет не только качество получаемого продукта, но и показатели технико-экономической эффективности всего производства.

Результаты и их обсуждение. Широко используют в сельскохозяйственном производстве машины барабанного типа [2 – 4]. Для сушки продуктов растительного происхождения была разработана барабанная сушилка [5], периодического действия (рисунок 1).

Научная новизна заключается в разработке конструктивно – технологической схемы барабанной сушилки, имеющей лопастное перемешивающее устройство, обеспечивающее сушку растительного сырья, преимущественно плодов боярышника, шиповника, рябины.

Принцип действия установки заключается в следующем. Через люк 5 исходный влажный продукт подается в перфорированный барабан 1. Вращение барабана осуществляется по часовой стрелке. Внутри барабана лопастная мешалка, вращающаяся против часовой стрелки, перемешивает продукт, который равномерно распределяется по барабану, при этом предотвращается слипание продукта и обеспечивается хороший контакт его с сушильным агентом [1, 6]. Нагретый воздух, поступая с двух сторон, обеспечивает процесс сушки при температуре 55 – 60 °C.



1 – барабан цилиндрический, сварной; 2 – привод барабана; 3 – привод мешалки; 4 – пульт; 5 – люк загрузочный; 6 – люк выгрузной; 7 – патрубки; 8 – камера нагревательная; 9 – вентилятор; 10 – электросчетчик; 11 – винты регулировочные

Рисунок 1 – Сушилка барабанная (вид общий)

Процесс предлагаемой сушки можно полностью механизировать и автоматизировать. Сушилка надежна в работе и проста в эксплуатации, отличается высокой интенсивностью обезвоживания продуктов, имеющих большие размеры и объемы. Имеется возможность точной регулировки рабочего процесса.

Из недостатков можно отметить высокую металлоемкость, накапливание нагара на стенках барабана, малый коэффициент использования рабочего объема барабана.

Изучали зависимость показателей энергоемкости процесса сушки от различных факторов. Базовым для изучения энергоэффективности сушки плодов боярышника (начальное влагосодержание продукта 74,9 %) был выбран показатель удельного расхода электроэнергии (кВт·ч/кг), учитывающий затраты энергии и количество испаренной влаги по формуле:

$$Q_{уд} = \frac{N}{W_{вл}}, \quad (1)$$

где N - количество потребляемой электроэнергии, кВт·ч; $W_{вл}$ - количество испаренной влаги, кг.

Изучив теоретические вопросы, касающиеся сушки, проведя определенную экспериментальную работу, были установлены факторы, определяющие удельный расход электроэнергии: температура, влагосодержание и скорость подачи сушильного агента, частота вращения барабана и перемешивающего устройства, коэффициент заполнения барабана, продолжительность сушки, мощность электрических нагревательных элементов, конструктивное исполнение рабочих органов.

По предварительным экспериментам [1, 6] наиболее ощутимым влиянием на качество и скорость процесса сушки, обладают скорость подачи воздуха и коэффициент заполнения барабана. Улучшению качества продукта и увеличению скорости сушки плодов боярышника способствует использование перемешивающего устройства. По результатам предварительных экспериментов выбрали следующие значимые факторы:

n - частота вращения мешалки, мин$^{-1}$.

V - скорость подачи воздуха, м/с;

k - коэффициент заполнения барабана;

Эти факторы можно варьировать при одновременном контроле в процессе обезвоживания продукта, с возможностью учета изменения количественных параметров внутри барабан [7].

Для определения уровней варьирования факторов (таблица 1) по критерию удельного расхода электроэнергии для плодов боярышника были проведены предварительные исследования [1, 6].

Таблица 1– Интервалы варьирования значимых факторов

Значимые факторы:	Натуральные значения факторов		
	n, мин$^{-1}$	V, м/с	k
Основной уровень	20	2	0,3
Интервал варьирования	10	0,5	0,05
Верхний уровень (+1)	30	2,5	0,35
Нижний уровень (-1)	10	1,5	0,25

При получении точных результатов исследования надежность эксперимента составила Н = 0,95 с предельной ошибкой Δ = ±3σ (наибольшей возможной статистической), тогда повторность выполняемых замеров k= 3.

Для ускоренного получения экспериментальных данных проводили только по два параллельных опыта (n = 2).

Используя данные таблицы 1, раскодировав переменные, получили уравнение регрессии как функцию выбранных значимых факторов:

$$Y = 163{,}61 - 4{,}3578k - 1.728V - 1.243n + 0.641kn + 0.344kV + 0.232k^2 \cdot \quad (2)$$

Для проверки уравнения регрессии и построения графической интерпретации поверхности отклика использовали программу Statistica 10.0. Графические интерпретации поверхности отклика показаны на рисунках 2-4.

Анализируя поверхность отклика (рисунок 2) можно увидеть, что с увеличением частоты вращения мешалки и скорости подачи воздуха возрастает удельный расход электроэнергии, для обеспечения 1,75 - 1,86 кВт·ч/кг испаренной влаги. Коэффициент заполнения барабана, при этом, равен η_v = 0, 25.

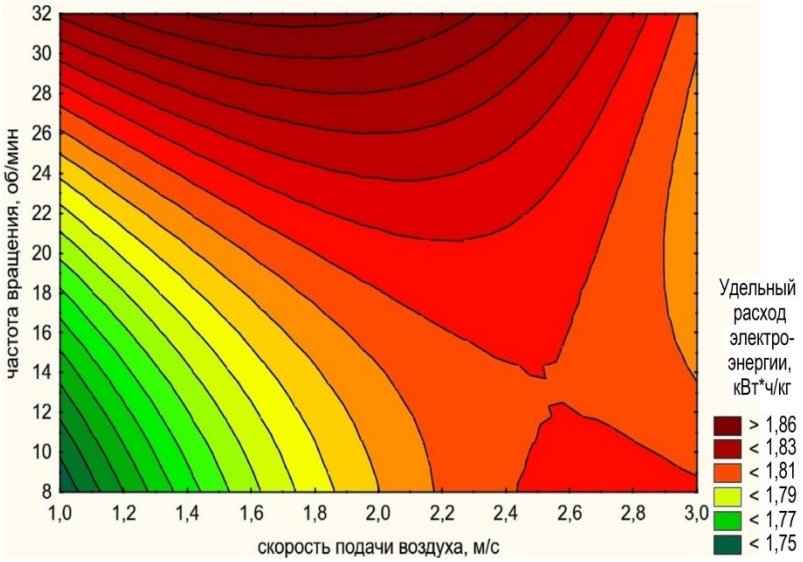


Рисунок 2 –Влияние частоты вращения мешалки, скорости подачи воздуха, коэффициента заполнения барабана (η_v = 0, 25) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии кВт·ч/кг испаренной влаги

Анализ поверхности отклика (рисунок 3) показал, что с увеличением скорости подачи воздуха в диапазоне 1 - 3 м/с, возрастает удельный расход электроэнергии в диапазоне от 1,76 до 1,92 кВт·ч/кг испаренной влаги. Отмечено при этом, что влияние η_v - коэффициента заполнения

барабана на эту характеристику практически отсутствует. Частота вращения перемешивающего устройства в этом случае фиксирована и составляет 20 мин$^{-1}$.

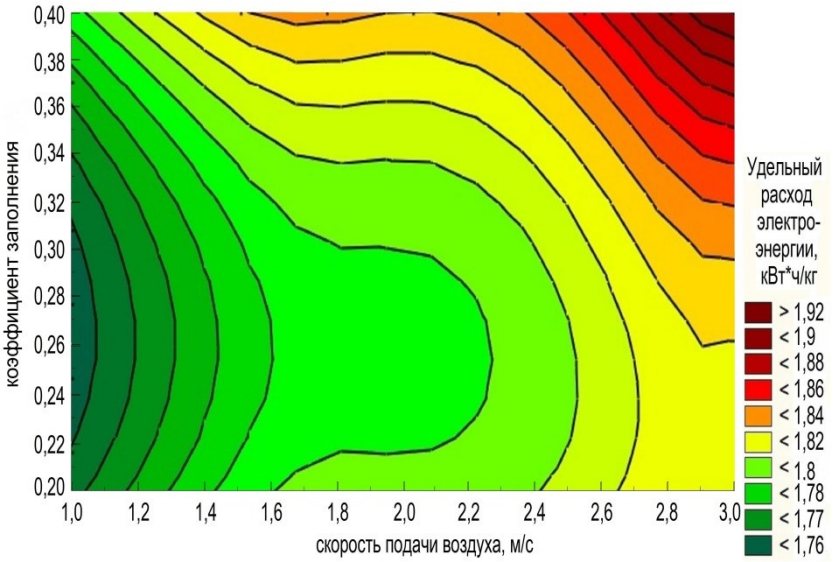


Рисунок 3 – Влияние коэффициента заполнения барабана, скорости подачи воздуха, частоты вращения мешалки (20 мин$^{-1}$) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии кВт·ч/кг испаренной влаги

Анализ поверхности отклика, представленной на рисунке 4, показал, что для частоты вращения мешалки 18 - 22 мин$^{-1}$ и коэффициента заполнения барабана η_v = 0,24 - 0,26, удельный расход электроэнергии лежит в диапазоне 1,77 - 1,79 кВт·ч/кг испаренной влаги. Подача воздуха фиксируется при скорости 2,5 м/с.

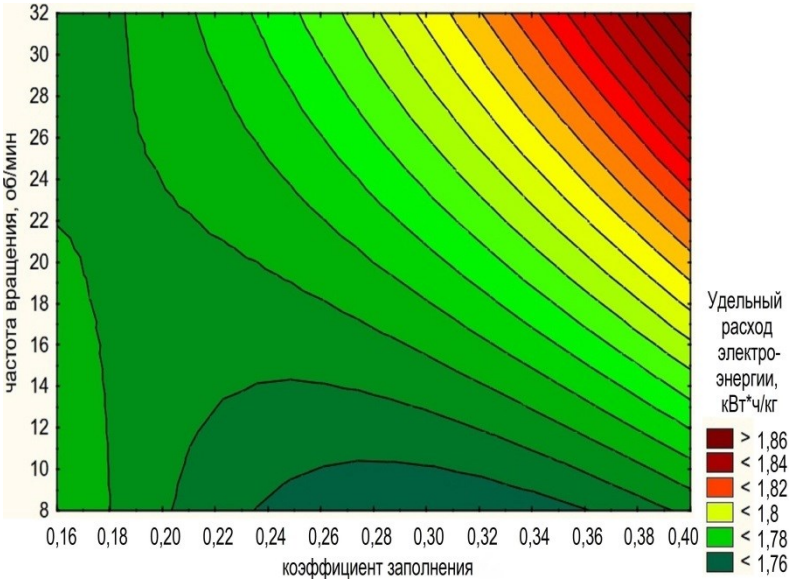


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения мешалки, коэффициента заполнения барабана, скорости подачи воздуха (2,5 м/с) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии

Заключение. Результаты экспериментальных исследований позволили определить диапазоны параметров энергоемкости при сушке плодов боярышника в барабанной сушильной установке: частота вращения мешалки 10 – 30 мин$^{-1}$, скорость подачи воздуха 1 – 3 м/с, температура воздуха 60 °С, удельный расход электроэнергии 1,75 – 1,92 кВт·ч/кг.

Установлены рекомендуемые значения следующих параметров, обеспечивающих наиболее энергосберегающий режим при сохранении высокого качества готового продукта: для скорости подачи воздуха – 2,5 м/с; для коэффициента заполнения барабана – 0,25; для частоты вращения мешалки – 20 мин$^{-1}$, для температуры сушки - 60^{0}С с начальным влагосодержанием продукта 74,9 % и конечным 14 %. При этом удельный расход электроэнергии составит 1,83 кВт·ч/кг испаренной влаги.

Список литературы

1. Лазин П.С. Совершенствование технологии сушки плодов боярышника в барабанной сушилке с лопастным перемешивающим устройством: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Лазин Павел Сергеевич. – Мичуринск, 2019. - 24 с.

2. Валуйский В.Я. Продвижение сыпучих продуктов через наклонный барабан / В.Я. Валуйский // Известия вузов. Пищевая технология, 1965. – № 1. – С. 139 - 143.

3. Антипов С.Т. Тепло- и массобмен при сушке в аппаратах с вращающимся барабаном / С.Т. Антипов, В.Я. Валуйский, В.Н. Меснянкин. – Воронеж, 2001. – 308 с.

4. Меснянкин В.Н. Совершенствование аппаратов с вращающимся барабаном для сушки сыпучих пищевых продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.18.12 / Меснянкин Виктор Николаевич. – Воронеж, 2002. – 23 с.

5. Пат. 170138 Российская Федерация, МПК F26B 11/04. Барабанная сушилка / А.И. Завражнов, С.Ю. Щербаков, П.С. Лазин, З.А. Щербакова; патентообладатель: ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет. – № 2016133239, заявл. 11.08.2016; опубл. 14.04.2017. Бюл.№ 11.

6. Shcherbakov S.Y., Krivolapov I.P., Lazin P.S. Drying Hawthorn Berries in Drum Dryer Using Blade Agitator // Amazonia Investiga. 2019. 8 (21), P. 588-595. Retrieved from https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia /article/ view/139

7. Лыков А. В. Теория сушки /А.В.Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

References

1. Lazin P.S. Sovershenstvovanie tekhnologii sushki plodov boyaryshnika v barabannoj sushilke s lopastnym peremeshivayushchim ustrojstvom: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01/ Lazin Pavel Sergeevich. – Michurinsk, 2019. - 24 s.

2. Valuisky V.Ya. Promotion of bulk products through an inclined drum/V.Ya. Valuisky//News of universities. Food technology, 1965. - No. 1. - S. 139 - 143.

3. Antipov S.T. Heat and mass exchange during drying in apparatuses with a rotating drum / S.T. Antipov, V.Ya. Valuisky, V.N. Mesnyankin. - Voronezh, 2001. - 308 s.

4. Mesnyankin V.N. Improvement of devices with a rotating drum for drying bulk food products: autoref. yew.... edging. техн. Sciences 05.18.12/Mesnyankin Victor Nikolaevich. - Voronezh, 2002. - 23 p.

5. Pat. 170138 Rossijskaya Federaciya, MPK F26B 11/04. Barabannaya sushilka / A.I. Zavrazhnov, S.YU. SHCHerbakov, P.S. Lazin, Z.A. SHCHerbakova; patentoobladatel': FGBOU VO Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – № 2016133239, zayavl. 11.08.2016; opubl.14.04.2017. Byul.№ 11.

6. Shcherbakov S.Y., Krivolapov I.P., Lazin P.S. Drying Hawthorn Berries in Drum Dryer Using Blade Agitator // Amazonia Investiga. 2019. 8(21), P. 588-595. Retrieved from https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia /article/ view/139

7. Lykov A.V. Drying Theory/A.V. Lykov. - M.: Energy, 1968. - 472 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Щербаков Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: scherbakov78@yandex.ru.

Лазин Павел Сергеевич – кандидат технических наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lazin.pavel@mail.ru.

Ведищев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент доктор технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly – Academician of the Russian Academy of Sciences, Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Scherbakov Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk state agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: scherbakov78@yandex.ru.

Lazin Pavel – Candidate of Technical Sciences of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk state agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lazin.pavel@mail.ru.

Vedischev Sergey – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.06.2020

УДК 631.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-31-40

БЕСПИЛОТНЫЕ МАШИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

[1]Балабанов Виктор Иванович
[2]Елесеев Владимир Викторович
[1]Солдатов Павел Дмитриевич
[1]Бабанский Иван Владимирович
[1]Романенкова Мария Сергеевна

[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
[2]ООО «РОБОПРОБ»

Реферат: *Дан обзор применения беспилотных машин в сельском хозяйстве в целях проведения мониторинга состояния почвы и посевов, дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений. Определены качественные показатели различных типов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и почвенных пробоотборников, обсуждаются их достоинства и недостатки. Выбор типа применяемой беспилотной техники и её техническое оснащение напрямую зависти от решаемых задач и рентабельности его применения. Показано, что мультиспектральная съемка с помощью БПЛА с координатной привязкой до нескольких сантиметров, позволяет получить множество вегетационных индексов - NDVI, PVI, WDVI в реальном масштабе времени. Анализ информации о состоянии посевов и электронных карт полей позволяет сельхозпроизводителю принимать решение о необходимости проведения агротехнологических работ, месте и объеме их проведения. В соответствии с принятым решением, программным методом формируется алгоритм проведения работ преобразуемый в программу, именуемую «файлом предписаний». Приведены показатели экономической эффективности для данных беспилотных систем, что подчеркивает их рентабельность. Использование автоматических пробоотборников позволит достичь повышения качества*

почвенных проб, снизить уровень погрешности в определении точки взятия проб до 10 % и менее, результаты определения характеристик проб до 5-8% и повысить производительность труда в 5-10 раз, а также практически исключить влияние человеческого фактора и обеспечить малые трудозатраты. В следствие чего себестоимость анализа и отбора проб не будет превосходить 100-150 рублей при рыночной цене от 1000 руб.

Ключевые слова: *сельское хозяйство, мониторинг посевов, фенотипирование, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), автоматический пробоотборник, информатизация, точное земледелие, дифференцированное внесение удобрений и средств защиты растений.*

UNMANNED VEHICLES AND THEIR APPLICATION IN AGRICULTURE

[1]Balabanov Victor
[2]Eleseev Vladimir
[1]Soldatov Pavel
[1]Babansky Ivan
[1]Romanenkova Maria
[1]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"
[2]LLC "ROBOPROB"

Abstract. *A review of the use of unmanned vehicles in agriculture in order to monitor the condition of the soil and crops, the differential application of fertilizers and plant protection products is given. The qualitative indicators of various types of unmanned aerial vehicles (UAVs) and soil samplers are determined, their advantages and disadvantages are discussed. The choice of the type of unmanned equipment used and its technical equipment directly envy of the tasks to be solved and the profitability of its application. It is shown that multispectral imaging using UAVs with a coordinate reference of up to several centimeters allows you to get many vegetation indices - NDVI, PVI, WDVI in real time. Analysis of information on the condition of crops and electronic field maps allows the farmer to make a decision on the need for agricultural work, the place and amount of their implementation. In accordance with the decision, a program method is used to form an algorithm for the work that is transformed into a program called a "prescription file". Economic efficiency indicators for these unmanned systems are presented, which emphasizes their profitability. The use of automatic samplers will allow to improve the quality of soil samples, reduce the level of error in determining the point of sampling to 10 % or less, determine the characteristics of samples to 5-8% and increase labor productivity by 5-10 times, and also virtually eliminate the influence of the human factor and ensure low labor costs. As a result, the cost of analysis and sampling will not exceed 100-150 rubles at a market price of 1000 rubles.*

Keywords: *agriculture, crop monitoring, phenotyping, unmanned aerial vehicle (UAV), automatic sampler, informatization, precision farming, differential application of fertilizers and plant protection products.*

Основная часть. Возрастающая численность населения Земли за последнее десятилетие создаёт ситуацию дефицита производимой сельскохозяйственной продукции. По оценке продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), к 2050 году население на планете достигнет – 9,6 млрд. человек, то есть станет на треть больше, чем сегодня. Следовательно, возникнет необходимость значительного увеличения продукции, производимой сельскохозяйственными предприятиями [1-7].

К основным факторам, влияющим на рост производительности в сельском хозяйстве, можно отнести способ организации производства, уровень механизации и степень внедрения инновационных технологий [1-7].

Современный агропромышленный комплекс работает по тем же принципам, что и любой бизнес, при постоянном стремлении снижать себестоимость единицы продукции с повышением производительности в расчёте на единицу затратных ресурсов. На протяжении всего XX века достигать этих целей позволял классический инструментарий: энергоёмкие сельскохозяйственные машины, высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных культур, эффективные методы ухода (удобрения, регуляторы роста) и оптимальные агротехнические приемы. Сегодня эти инструменты

по-прежнему актуальны, но их потенциал практически достиг предела, возможного при современном уровне агротехнологий. В настоящее время появились новые инструменты, в частности спутниковые и компьютерные технологии, ставшие общедоступными. Их освоение и внедрение в сельское хозяйство привело к созданию точного земледелия [6-10].

Точное хозяйствование, в совокупности с использованием передовых технологий и решений для увеличения производительности, позволило максимизировать урожайность и минимизировать потери за счет сбора и анализа данных в реальном времени, а также оптимизации механизма управления сельскохозяйственными машинами различного назначения. [6-10]

По данным журнала «MARKETS AND MARKETS» совокупный объем продаж на мировом рынке цифровых технологий в сельском хозяйстве, вырастет с 13.7 млрд. в 2015 году до 26.8 млрд. долларов США в 2020 году, что составит 14.3 % годового роста объема продаж. Это лишний раз подчеркивает заинтересованность сельхозпроизводителей во внедрении цифровых технологий в своей деятельности. [8]

Целью данной статьи является обзор применения цифровых технологий в интересах автоматизации процессов управления машинами сельскохозяйственного назначения.

В соответствии с ГОСТ Р 56084-2014, координатное (точное) земледелие – это совокупность технических средств, программно-аппаратных комплексов, навигационных, геоинформационных и телекоммуникационных технологий, позволяющих снимать, обрабатывать и применять информацию, привязанную к координатам, с целью оптимизации агротехнологических решений производства продукции растениеводства.

Исходя из определения, точное земледелие заключает в себе большое количество различных элементов и этапов, которые логически можно разделить на мониторинг сельскохозяйственных угодий, анализ полученной информации в целях принятия решения по повышению производительности и выполнение решений (проведение агротехнологических работ) в интересах увеличения урожайности и минимизации потерь [6-10].

Развитие современных технологий, таких как глобальные системы спутникового позиционирования, геоинформационные системы, системы параллельного вождения сельскохозяйственной техники, системы сбора информации о составе и плодородии почвы и т.д. позволило создать широкий спектр беспилотных машин. Среди них БПЛА позволяющие произвести мониторинг площади посадки и состояния роста урожая, а также его биологические и физические свойства. Роботизированные комбайны, имеющие более высокую точность, чем механизатор человек, а также возможность идентифицировать различные препятствия, представляющие опасность для сельскохозяйственной техники (столбы, камни, линии электропередач и т.д.), в любое время суток и при любых погодных условиях. Применение роботизированных оросительных комплексов и дождевальных машин с дифференцированными поливом, позволило в значительной мере сократить затраты оросительной воды и затрат энергоресурсов на ее доставку.

В свою очередь применение тех или иных систем и технологий, беспилотных или роботизированных комплексов, на прямую зависит от решаемых ими задач и рентабельности их применения.

Одним из перспективных направлений в точном земледелии является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (рисунок 1).

К целевым возможностям применения в сельском хозяйстве БПЛА можно отнести: инвентаризацию сельхозугодий, создание электронных карт полей, оценку объема работ и контроль их выполнения, оперативный мониторинг состояния посевов, оценку всхожести сельскохозяйственных культур.

Основные типы БПЛА используемые в сельском хозяйстве, по своему построению, разделяют на коптерные беспилотники, вертолеты, дирижабли и самолеты.

Все перечисленные типы БПЛА имеют свои достоинства и недостатки, и выбираются исходя из решаемых задач и имеющегося бюджета [11-20].

Коптерные беспилотники обладают возможностью вертикального взлета и посадки, способностью зависания над конкретной географической точкой и имеют низкую стоимость. К недостаткам таких БПЛА можно отнести малую дальность и короткое время полета, чувствительность к погодным условиям и низкую полезную нагрузку.

Рисунок 1 – Применение БПЛА для мониторинга сельскохозяйственных посевов на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

По сравнению с коптерными, БПЛА вертолетного типа обладают большими временем и дальностью полета. Имеют более высокую полезную нагрузку. В свою очередь они так же зависимы от погодных условий, имеют относительно высокую стоимость производства и эксплуатации.

Дирижабли обладают возможностью вертикального взлета и посадки, высокой полезной нагрузкой и длительным временем полета. Однако их медлительность, большие геометрические размеры, плохая устойчивость в ветреную погоду и относительно высокая стоимость значительно ограничивают круг решаемых ими задач и сильно уступают коптерным БПЛА и БПЛА вертолетного типа.

БПЛА самолетного типа имеют высокую скорость и большую дальность полета, относительно высокую полезную нагрузку. Однако их не способность зависать в конкретной геоточке и отсутствие вертикального взлета и посадки также ограничивают их применение.

Качественные показатели различных типов БПЛА представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественные показатели различных типов БПЛА

Показатели	Типы БПЛА			
	Коптер	Вертолет	Самолет	Дирижабль
Модель	DJIS1000+	AXH-E230	Bat-3	CB3000
Относительная цена	низкая	средняя	средняя	высокая
Вес ЛА, кг	6	15	56	300
Полезная нагрузка, кг	7	15	9	10
Скорость, м/с	12	23	33	15
Высота, м	500	3000	3000	125

С целью выполнения таких работ, как фенотипирование агрокультур, БПЛА могут быть оснащены цифровыми камерами, мультиспектральными камерами, инфракрасными тепловыми камерами или тепловизорами, гиперспектральными камерами и радиолокаторами с синтезированной апертурой. Оптимальный набор информационных датчиков определяется исходя из решаемых задач и возможностей БПЛА по полезной нагрузке и точности координатно-временных определений своего места положения (рисунок 2).

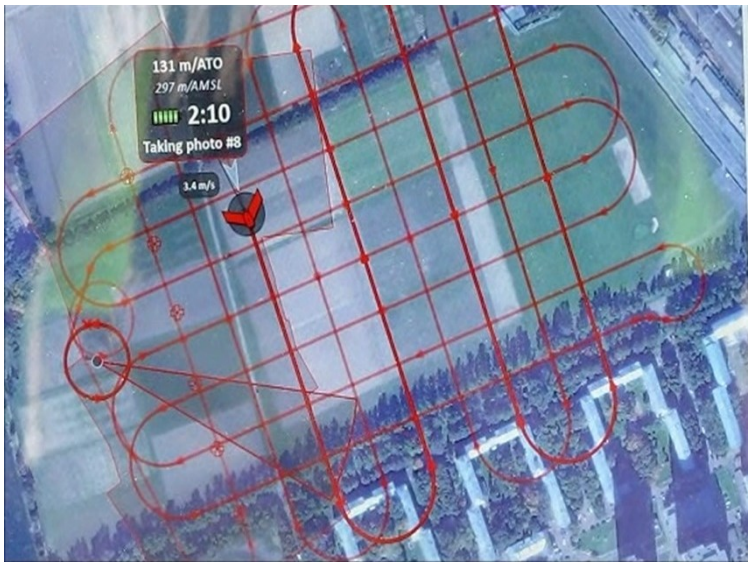


Рисунок 2 – Полетное задание БПЛА над Полевой опытной станцией РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Применение БПЛА с мультиспектральными датчиками, за счет использования спектральных характеристик в видимом и не видимом диапазоне волн, позволяет произвести мониторинг площади посадки и состояния роста урожая, а также его биологические и физические свойства. Также получение и обработка информации от мультиспектральных камер позволяет оценить состояние почв, наличие и состояние сорной растительности в ранний период вегетации, содержание воды и хлорофилла, концентрацию азота в листьях выращиваемой агрокультуры. Подобная информация позволяет произвести прогноз урожайности и создать электронную карту полей для своевременного и дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений [11-22].

При помощи мультиспектральной съемки формируется композитное изображение исследуемых сельхозугодий с достаточно точной, до нескольких сантиметров, координатной привязкой, что в свою очередь позволяет получить множество вегетационных индексов – NDVI, PVI, WDVI и другие, отражающие различные качественные и количественные показатели в реальном масштабе времени [7].

Также основой для получения высоких урожаев является картограмма плодородия почвы. Отбор проб с каждого поля осуществляется по сетке, узлы которой заданы с определенной частотой и благодаря системе навигации имеют точные координатные привязки. Сетка для автоматического отбора проб задается строго в соответствии с площадью захвата, и шаг может составлять от сотых долей, до нескольких квадратных метров. После получения агрохимических показателей почвы может быть составлена контурная карта распределения почвенных свойств. Составление подобных карт является основой технологии дифференцированного внесения удобрений.

Мониторинг плодородия почвы предполагает отбор проб различных участков поля и проводится двумя способами: контактным и безконтактным, но чаще используется контактный метод. Плодородие почвы определяется такими показателями, как агрохимические свойства, содержание макро- и микроэлементов, наличие токсичных веществ и бактериологический состав. Для сбора образцов используются автоматические почвенные пробоотборники (рисунок 3) и стационарные пробоотборники, которые устанавливают на различные средства передвижения, от тракторов, до четырехколесных мотоциклов. Транспорт оснащается GPS-приемником и мобильным компьютером, что позволяет получать координаты точек взятия проб во время выполнения работ [10-13]. Качественные показатели моделей пробоотборников представлены в таблице 2.

Рисунок 3 – Автоматический почвенный пробоотборник компании RoboPROB.

Отбор проб почвы проводится без участия человека, глубина отбора почвенных образцов составляет до 30 см. Место взятия пробы фиксируется с помощью системы навигации, таким образом, каждый образец почвы маркируется уникальными координатами местоположения. В отсутствии покрытия поля мобильной связью данные фиксируются на магнитном накопителе и передаются в информационное облако после появления связи. После взятия всех проб на участке, образцы почвы доставляются в лабораторию, где проводится исследование агрохимических свойств почвы. По требованиям ГОСТ рекомендуется проводить агрохимическое обследование грунта каждые 5 лет, однако экономически оправданно проведение ежегодного обследования по зонам почвенного плодородия каждый сезон и по сетке элементарных участков не реже 1 раза в 5 лет [11-12].

Таблица 2 – Качественные показатели моделей пробоотборников

Показатели	Модели пробоотборников				
	Wintex 1000	N 2005	AutoProb	Falcon	RoboPROB
Количество проб без подзарядки	1	1	Вручную, неогранич.	12	**36**
Упаковка и маркировка	Вручную	Вручную	Вручную	Вручную	**Автомати-зированная**
Проб/час	10-12	8-10	**60**	30	30
Стоимость 1 пробы, руб.	32,2	43,8	47,9	77,9	**10,4**
Цена, тыс. руб.	1 300	1 500	10 785	8 852	**1 200**
Стоимость владения, тыс. руб	310	350	2 300	1 870	**250**

На основании тщательного анализа полученной информации о состоянии посевов и электронных карт полей, сельхоз производитель принимает решение о необходимости проведения агротехнологических работ, месте и объеме их проведения. В соответствии с принятым решением, программным методом формируется алгоритм проведения работ преобразуемый в программу, именуемую «файлом предписаний» [8-10].

Подобная технология позволяет сельхозпроизводителям применять в своей работе системы дифференцированного внесения удобрений. То есть разбрасыватель, установленный на сельхозтехнике, действуя в соответствии с файлом предписаний, вносит различное количество удобрений на различных участках посевов, это не только позволяет значительно сократить расход удобрений, но и снизить негативные последствия от чрезмерного «перекармливания» посевов, что в конечном итоге повышает урожайность и удешевляет стоимость производственного процесса [7, 10, 16, 20].

Помимо возможности дифференцированного внесения удобрений или средств защиты растений, подобная технология позволяет заблаговременно обнаружить очаги воздействия различных вредителей или болезней, что в свою очередь позволит принять своевременные меры для минимизации или полного исключения негативных последствий.

В качестве исполнителя файла предписаний могут выступать различные машины сельскохозяйственного назначения, оснащенные различными геоинформационными и телекоммуникационными системами и системами на основе искусственного интеллекта. Подобные системы дают возможность решать широкий спектр задач агротехнологических работ, без участия человека и как следствие использования ручного труда.

Развитие современных технологий, таких как глобальные системы спутникового позиционирования, геоинформационные системы, системы параллельного вождения сельскохозяйственной техники, системы сбора информации о составе и плодородии почвы и т.д. позволило создать широкий спектр беспилотных машин.

Среди них БПЛА позволяющие произвести мониторинг площади посадки и состояния роста урожая, а также его биологические и физические свойства. Роботизированные комбайны, имеющие более высокую точность, чем механизатор человек, а также возможность идентифицировать различные препятствия, представляющие опасность для сельскохозяйственной техники (столбы, камни, линии электропередач и т.д.), в любое время суток и при любых погодных условиях. Применение роботизированных оросительных комплексов и дождевальных машин с дифференцированными поливом, позволило в значительной мере сократить затраты оросительной воды и затрат энергоресурсов на ее доставку [16].

В качестве одного из примеров применения роботизированной сельскохозяйственной техники можно рассмотреть беспилотные комбайны, применяемые для уборки зерна. Геоинформационное оборудование таких машин позволяет им выдерживать направление движения по курсу, во время движения по полю, в пределах 10-20 см, что в сравнении с работой механизатора человека приводит к повышению точности захвата кромки. В результате происходит экономия времени уборки и ГСМ, что в конечном итоге снижает себестоимость продукта.

Выводы:

1. Цифровизация сельского хозяйства позволяет принять оптимальные решения при организации современного производства. Использование различных машин и механизмов, современных беспилотных и информационных систем, соответствующего программного обеспечения, позволяет получать значительный рост производительности и снижение непроизводительных расходов, а, следовательно, значительно увеличивает экономическую эффективность от обработки одних и тех же объемов земель

2. Наиболее предпочтительным типом БПЛА для проведения оценки состояния сельскохозяйственных культур становятся коптерные БПЛА и вертолеты, имеющие возможность зависания над конкретной географической точкой, вертикального взлета и посадки, имеющие не большие геометрические размеры и относительно не высокую стоимость.

3. Использование автоматических пробоотборников позволит достичь повышения качества почвенных проб, снизить уровень погрешности в определении точки взятия проб до 10% и менее, результаты определения характеристик проб до 5-8% и повысить производительность труда в 5-10 раз, а также практически исключить влияние человеческого фактора и обеспечить малые трудозатраты. В следствии чего себестоимость анализа и отбора проб не будет превосходить 100-150 рублей при рыночной цене от 1000 руб.

Список литературы

1. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/(дата обращения: 01.06.2020).

2. Mastrorilli M. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives // Front. Plant Sci. – 2017. – 30 June. – P.1-26.

3. Корнилова Л.М., Иванов Е.А., Иванов П.А. Стимулирование инновационной активности сельскохозяйственных организаций - основа цифровизации АПК // Инновационное развитие экономики. – 2018. – № 5 (47). – С. 52-58.

4. Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С. Использование Беспилотных летательных Аппаратов в сельском хозяйстве // Исследования: теория и эксперимент. – 2019. – №1 (30 января). – С. 48-50.

5. Старовойтова О.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И., Овэс Е.В., Коршунов А.В., Манохина А.А., Балабанов В.И., Федоренко В.Ф., Голубев И.Г., Звягинцев П.С., Зуев В.В., Воронов Н.В. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля: науч. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 236 с.

6. Балабанов В.И., Федоренко В.Ф. и др Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия: учеб.. –М.: ФГБНУ «Росинформагротех»,2016. – 240 с.

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

8. The Connected Farm smart agriculture market assessment // Marketsandmarkets. – 2020. – 30 apr. – P.1-16.

9. Точное земледелие. Обследование сельскохозяйственных угодий на основе спектрозональной съемки и ее анализа [Электронный ресурс]. - URL: http://gpscom.ru/default.aspx?id=39. (дата обращения 03.06.2020).

10. Романенкова М.С., Балабанов В.И. Применение цифровых технологий в растениеводстве // Наука в Центральной России. – 2020. – № 2. – С. 74-82.

11. Сельхозтехника без водителя уже реальна [Электронный ресурс]. – URL: https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/num445.html# literal83488/ (дата обращения: 02.06.2020).

12. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Булгакин Д.С., Гольтяпкин В.Я., Голубев И.Г. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития // научное издание. –М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 314 с.

13. Абросимов В.К., Елисеев В.В. Технология оперативного агрохимического обследования почвы с использованием робототехнических средств / статья, 10 с.

14. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я., Мишуров Н.П. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства за рубежом // матер. Междунар. выставки «Agritechnica-2015»): науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 220 с.

15. Российская система автономного управления комбайном на основе искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – URL: https://promo.cognitivepilot.com/ (дата обращения 03.06.2020).

16. Быков В.Л., Быков Л.В. и др. Применение данных дистанционного зондирования для информационного обеспечения системы точного земледелия // Науки о земле. – 2016. С. – 146.

17. Федоренко В.Ф. Интеллектуализация – основной тренд инновационного развития сельскохозяйственной техники // Техника и оборуд. для села. – 2018. – № 12. – С. 2-8.

18. Ежевский А.А., Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2010. – 292 с.

19. Щеголихина Т.А. Технические средства для оценки состояния почвы в системе точного земледелия: аналит. информ. сообщ. – ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 8 с.

20. Умное растениеводство [Электронный ресурс]. URL: https://iot.ru/ wiki/umnoe-rastenievodstvo (дата обращения: 01.06.2020).

21. Беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс]. – URL: http://uav-siberia.com/catalog/uavs /(дата обращения: 04.06.2020).

22. Беспилотные летательные аппараты ZALA [Электронный ресурс]. – URL: http://zala.aero/ (дата обращения: 04.06.2020).

References

1. Strategiya innovacionnogo razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda (utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 8 dekabrya 2011 g. № 2227-r). [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/(data obrashcheniya: 01.06.2020).

2. Mastrorilli M. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives // Front. Plant Sci. – 2017. – 30 June. – R.1-26.

3. Kornilova L.M., Ivanov E.A., Ivanov P.A. Stimulirovanie innovacionnoj aktivnosti sel'skohozyajstvennyh organizacij - osnova cifrovizacii APK // Innovacionnoe razvitie ekonomiki. – 2018. – № 5 (47). – S. 52-58.

4. Zubarev YU.N., Fomin D.S. Ispol'zovanie Bespilotnyh letatel'nyh Apparatov v sel'skom hozyajstve // Issledovaniya: teoriya i eksperiment. – 2019. – №1 (30 yanvarya). – S. 48-50.

5. Starovojtova O.A., ZHevora S.V., Starovojtov V.I., Oves E.V., Korshunov A.V., Manohina A.A., Balabanov V.I., Fedorenko V.F., Golubev I.G., Zvyagincev P.S., Zuev V.V., Voronov N.V. Konkurentosposobnye tekhnologii semenovodstva, proizvodstva i hraneniya kartofelya: nauch. izd. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. – 236 s.

6. Balabanov V.I., Fedorenko V.F. i dr Tekhnologii, tekhnika i oborudovanie dlya koordinatnogo (tochnogo) zemledeliya: ucheb.. –M.: FGBNU «Rosinformagrotekh»,2016. – 240 s.

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

8. The Connected Farm smart agriculture market assessment // Marketsandmarkets. – 2020. – 30 arr. – R.1-16.

9. Tochnoe zemledelie. Obsledovanie sel'skohozyajstvennyh ugodij na osnove spektrozonal'noj s"emki i ee analiza [Elektronnyj resurs]. - URL: http://gpscom.ru/default.aspx?id=39. (data obrashcheniya 03.06.2020).

10. Romanenkova M.S., Balabanov V.I. Primenenie cifrovyh tekhnologij v rastenievodstve // Nauka v Central'noj Rossii. – 2020. – № 2. – S. 74-82.

11. Sel'hoztekhnika bez voditelya uzhe real'na [Elektronnyj resurs]. – URL: https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/num445.html# literal83488/ (data obrashcheniya: 02.06.2020).

12. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Bulgakin D.S., Gol'tyapkin V.YA., Golubev I.G. Cifrovoe sel'skoe hozyajstvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya // nauchnoe izdanie. –M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. – 314 s.

13. Abrosimov V.K., Eliseev V.V. Tekhnologiya operativnogo agrohimicheskogo obsledovaniya pochvy s ispol'zovaniem robototekhnicheskih sredstv / stat'ya, 10 s.

14. Fedorenko V.F., Gol'tyapin V.YA., Mishurov N.P. Tendencii mashinno-tekhnologicheskoj modernizacii sel'skogo hozyajstva za rubezhom // mater. Mezhdunar. vystavki «Agritechnica-2015»): nauch. analit. obzor. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2016. – 220 s.

15. Rossijskaya sistema avtonomnogo upravleniya kombajnom na osnove iskusstvennogo intellekta [Elektronnyj resurs]. – URL: https://promo.cognitivepilot.com/ (data obrashcheniya 03.06.2020).

16. Bykov V.L., Bykov L.V. i dr. Primenenie dannyh distancionnogo zondirovaniya dlya informacionnogo obespecheniya sistemy tochnogo zemledeliya // Nauki o zemle. – 2016. S. – 146.

17. Fedorenko V.F. Intellektualizaciya – osnovnoj trend innovacionnogo razvitiya sel'skohozyajstvennoj tekhniki // Tekhnika i oborud. dlya sela. – 2018. – № 12. – S. 2-8.

18. Ezhevskij A.A., CHernoivanov V.I., Fedorenko V.F. Tendencii mashinno-tekhnologicheskoj modernizacii sel'skogo hozyajstva: nauch. analit. obzor. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2010. – 292 s.

19. SHCHegolihina T.A. Tekhnicheskie sredstva dlya ocenki sostoyaniya pochvy v sisteme tochnogo zemledeliya: analit. inform. soobshch. – FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. – 8 s.

20. Umnoe rastenievodstvo [Elektronnyj resurs]. URL: https://iot.ru/ wiki/umnoe-rastenievodstvo (data obrashcheniya: 01.06.2020).

21. Bespilotnye letatel'nye apparaty [Elektronnyj resurs]. – URL: http://uav-siberia.com/catalog/uavs /(data obrashcheniya: 04.06.2020).

22. Bespilotnye letatel'nye apparaty ZALA [Elektronnyj resurs]. – URL: http://zala.aero/ (data obrashcheniya: 04.06.2020).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Елесеев Владимир Викторович – генеральный директор ООО «Робопроб», e-mail: v_eliseev@land.ru.

Солдатов Павел Дмитриевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: pavsoldatov@gmail.com.

Бабанский Иван Владимирович – соискатель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: mr.babanscky2011@yandex.ru.

Романенкова Мария Сергеевна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: mashkaromanenkova@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Eleseyev Vladimir – General Director of LLC “Roboprob”,e-mail: v_eliseev@land.ru.

Soldatov Pavel – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: pavsoldatov@gmail.com

Babansky Ivan – applicant of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: mr.babanscky2011@yandex.ru

Romanenkova Maria – postgraduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: mashkaromanenkova@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.06.2020

УДК 632.08:631.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-40-46

ОСОБЕННОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗЕРНОВОЙ НАСЫПИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НА ХРАНЕНИИ В ГЕРМЕТИЧНОМ СИЛОСЕ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДОЙ

[1]Латышенок Михаил Борисович
[1]Макаров Валентин Алексеевич
[1]Латышенок Надежда Михайловна
[1]Слободскова Анастасия Анатольевна
[1]Ивашкин Алексей Викторович
[1]ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»

Реферат. *В процессе хранения зерна в нём происходят потери в массе и его качестве. Основными причинами этих потерь являются: биологические потери (возникающие в процессе дыхания зерна, интенсивность которого зависит от температуры и влажности окружающей среды); потери от жизнедеятельности насекомых вредителей, грызунов, которые могут в него проникнуть. Предложена принципиально новая технология для хранения семенного материала в условиях, характерных для малых и средних фермерских хозяйств, в закрытой системе – контейнер, с регулируемой в нём воздушной и газовой средой внутри контейнера. Исследования проводятся системе, в которой установлено, что процесс дыхания семян в закрытой системе происходят с выделением углекислого газа в объёме воздуха, находящегося внутри контейнера, который характеризуется дыхательным коэффициентом. Установлено, что при определении*

массы воздушной среды можно получить выражение, подчиняющееся уравнению Менделеева-Клайперона для идеального газа для внешних климатических условиях, на основании которого можно определить массовое содержание углекислого газа в воздушной смеси, описываемых математическими выражениями. Для получения исходных данных к расчёту ёмкости накопителя представляется новая оригинальная установка из герметизированного контейнера с вакуумметром. Установлено, что при оптимальном давлении 0,66 Мпа в рабочем объёме контейнера всхожесть семян пшеницы не теряется, и на основании полученных результатов строится графическая зависимость изменения вида дыхания, в межзерновом пространстве, при достижении 14,5 %. В заключении показывается, что при принудительной аэрации, содержание кислорода в воздушной смеси находится в пределах 7 %.

Ключевые слова: хранение, семенное зерно, контейнер, углекислый газ, принудительная аэрация.

FEATURES OF VENTILATION OF THE GRAIN MAY STORED IN A SEALED SEAL BIND WITH A REGULATED AIR

[1]Latyshenok Mikhail
[1]Makarov Valentinh
[1]Latyshenok Nadezhda
[1]Slobodskova Anastasia
[1]Ivashkin Alexey
[1]FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva"

Abstract. *During storage, losses in mass and grain quality occur. The main reasons for these losses are: biological losses (occurring in the process of respiration of the grain, the intensity of which depends on the temperature and humidity of the environment); losses from the vital activity of insect pests, rodents, which can penetrate into the grain mass.The article discusses a fundamentally new way of storing seed grain in conditions typical for small and medium-sized farms in a closed system - a container with an adjustable air gas environment. Research is being conducted by the system. It has been established that the processes of seed respiration in a closed system occur with the release of carbon dioxide in the volume of oxygen, which is characterized by a respiratory coefficient. It is established that when determining the mass of the air medium, one can obtain an expression obeying the Mendeleev-Klaiperon equation for an ideal gas for external climatic conditions, on the basis of which it is possible to determine the mass content of carbon dioxide in the air mixture, described by mathematical expressions. To obtain the initial data for calculating the capacity of the drive, a new original installation from a sealed container with a vacuum gauge is presented. It was found that at an optimum pressure of 0.66 MPa in the working volume of the container, the germination of wheat seeds is not lost, and based on the results obtained, a graphical dependence of the change in the type of respiration in the intergranular space is built when it reaches 14.5 %. In conclusion, it is shown that with forced aeration, the oxygen content in the air mixture is within 7 %.*

Keywords: *storage, seed grain, container, carbon dioxide, forced aeration.*

Введение. В современных условия развития агропромышленного комплекса малые фермерские хозяйства вынуждены самостоятельно заниматься вопросами подготовки и хранения семян районированных сортов зерновых культур.

Во время хранения в зерне идут сложные биохимические процессы, связанные с переходом низкомолекулярных органических веществ, образовавшихся в ходе фотосинтеза растений, в высокомолекулярные: полисахариды, белки и жиры.

Предварительные исследования предложенного нового способа хранения семенного зерна позволяют утверждать, что наиболее экономически целесообразной технологией хранения семенного зерна, для малых и средних фермерских хозяйств, является хранение его в металлических контейнерах. Но эта технология не находит широкого применения из-за ряда существенных недостатков. К этим недостаткам относятся проблемы с возможным образованием конденсата влаги на его внутренних стенках из-за колебаний температуры окружающей среды, и,

соответственно, изменения влажности воздушной массы в межзерновых слоях, а также изменения состава воздуха внутри контейнера.

Влага является основной опасностью для зерна при хранении. В тоже время снижение концентрации кислорода заставляет перейти зерно на анаэробное дыхание, при котором в зерновой массе начинаются процессы, аналогичные спиртовому брожению, из-за чего оно теряет свою всхожесть и качество. В этом плане, чтобы избежать этих явлений, целесообразно организовать хранение семенного зерна в контейнере с частичным разряжением воздушной среды, позволяющее не допустить образование конденсационной влаги внутри этого контейнера в процессе вентиляции межзернового пространства и замедлить, соответственно, скорость аэробного дыхания зерна.

Цель исследований – обоснование объёма выделяемого углекислого газа к объёму поглощаемого кислорода с экспериментальной проверкой наличия массы воздушной смеси в контейнере в зависимости от его объёма и изменения вида дыхания.

Материалы и методы. Для получения исходных данных для расчета объема емкости накопителя углекислого газа были проведены исследования с использованием оригинальной лабораторной установки [1, 2, 3], состоящей из герметичного контейнера, на крышке которого был смонтирован вакуумметр.

Контейнер имел также атмосферный золотник для подачи воздуха из окружающей среды. Удаление отработанной воздушной массы из контейнера, с повышенным содержанием в воздушной массе углекислого газа, в разряженной атмосфере внутри него проводилась с помощью вакуумного насоса.

Контроль микроклиматических условий внутри контейнера осуществлялся с помощью регистратора влажности и температуры воздуха с USB – интерфейсом, а содержание кислорода в воздухе и углекислого газа в смеси проводилось с помощью универсального газоанализатора.

Исследования проводились в следующей последовательности. После очистки и сортировки семена яровой пшеницы засыпались в контейнер, и закрывались герметично крышкой. Затем из контейнера проводилась откачка воздуха с помощью вакуумного насоса и создавалась разряженная атмосфера величиной соответствующей плану проведения экспериментов.

В течение всего эксперимента контроль за состоянием и условиями хранения зерна, осуществлялся с использованием программ для ПЭВМ .

Во время контроля фиксировалась относительная влажность и температура воздушной смеси, а также объём содержания в ней углекислого газа и кислорода. При установлении предельной величины содержания углекислого газа в воздушной смеси, когда дыхательный коэффициент становился больше единицы, проводилась принудительная аэрация зерновой массы.

Для этого, вакуумным насосом из контейнера проводилась откачка использованной воздушной смеси, с пониженным содержанием кислорода. После чего открывался атмосферный золотник, через который атмосферный воздух поступал в контейнер, заполняя всё его свободное пространство. Затем атмосферный золотник закрывался, включался вакуумным насосом, создавая разряжение внутри контейнера до величины определенной методикой проведения экспериментов [4, 5, 6].

Результаты и их обсуждение. При хранении семенного зерна в контейнере с регулируемой воздушной средой мы имеем дело с двумя видами термодинамических систем – как закрытой, так и открытой (рисунок 1).

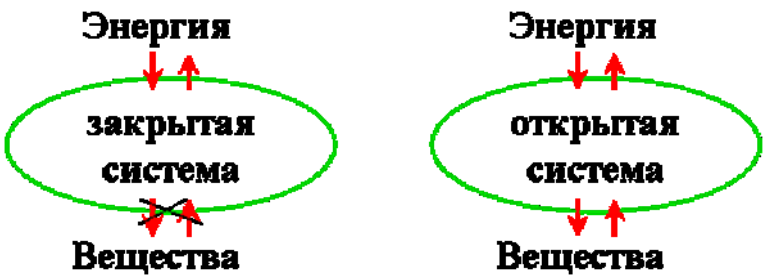


Рисунок 1 – Взаимодействие термодинамической системы контейнера с окружающей средой

В закрытой системе зерно будет находиться, большую часть времени. Установлено, что в процессе аэробного дыхания семян в контейнере состав воздуха в межзерновом пространстве постоянно меняется, при этом содержание углекислого газа увеличивается, а кислорода – уменьшается.

При повышенном содержании углекислого газа в контейнере становится необходимым производить вентиляцию зерновой массы наружным воздухом для исключения анаэробного дыхания зерна. В связи с этим теоретические исследования по наличию повышенного содержания углекислого газа в контейнере рассматриваются как для закрытой системы.

Процесс дыхания семян характеризуется дыхательным коэффициентом $K_д$, который определяется отношением объема выделенного углекислого газа к объему поглощенного кислорода воздуха и записывается в виде:

$$K_д = V_{CO2} / V_{O2} \quad (2)$$

При аэробном дыхании этот коэффициент принимается за единицу, и в этом случае доли углекислого газа и кислорода будут равны, а при анаэробном дыхании, когда зерно получает кислород за счет использования своих сухих веществ, дыхательный коэффициент будет иметь значение больше единицы.

С уменьшением количества кислорода в контейнере средняя доля углекислого газа в массе воздушной смеси возрастает. Поскольку углекислый газ тяжелее других газов, входящих в состав воздушной смеси, то он может их вытеснять из придонных слоев зерновой массы, находящейся в герметичном контейнере.

В этом случае с увеличением доли углекислого газа создаются условия к переходу зерна на дне контейнера к анаэробному дыханию и поэтому при хранении становится необходимым периодически контролировать содержание кислорода, а так же оборудовать контейнер специальной емкостью для отбора углекислого газа.

Для расчёта объема емкости было принято допущение – так как условная воздушная смесь, находясь внутри герметичного контейнера с температурой близкую к температуре окружающей среды имеет малый объем, её можно считать идеальным газом. Тогда, используя уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа, было получено выражение для определения масса воздушной смеси в контейнере:

$$m_{воз.см} = (P_{хр} \cdot \beta \cdot S \cdot Vк \cdot M_{воз\ см}) \div (RT_{хр} \cdot 100\%), \quad (3)$$

где $m_{воз.см}$ – масса воздушной смеси в контейнере, кг;

$P_{хр}$ — давление воздушной смеси внутри герметичного контейнера, Па;

β – степень заполнения контейнера зерновой массой,

S – скважность зерновой массы, %;

$Vк$ – внутренний объем контейнера, м^3.

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль^{o}К);

$T_{хр}$ - температура воздушной смеси, ^{o}К;

$M_{ср}$-молярная масса воздушной смеси, кг/моль.

Из формулы 3 видно, что при постоянном объёме контейнера и температуре хранения, которая будет зависеть от внешних климатических условий, на процесс дыхания зерна в герметичном контейнере будет оказывать внутреннее давление воздушной смеси внутри и степень заполнения его зерновой массой.

Оптимальные значения этих двух технологических параметра устанавливается в ходе экспериментальных исследований.

Массовое содержание углекислого газа в воздушной смеси может быть определено из выражения:

$$m(CO_2) = \omega(CO_2) \cdot [P_{хр} \cdot \beta \cdot S \cdot V_k \cdot M_{воз\ см}] \div (RT_{хр} \cdot 100\%), \quad (4)$$

где $\omega(CO_2)$ –массовая доля углекислого газа в воздушной смеси.

Из выражения 4 можно определить объем емкости для накопления углекислого газа, имеющейся в конструкции контейнера, позволяющей избежать накопления углекислого газа CO_2 в нижних слоях контейнера, что вызывает сокращение лишних циклов аэрации межзернового пространства для обеспечения достаточного количества кислорода воздуха для аэробного дыхания зерна. Объем емкости для углекислого газа может быть определен из уравнения:

$$V_{CO_2} = \frac{m(CO_2) \cdot R \cdot T_{xp}}{M_{cp} \cdot p_{xp}}, \quad (5)$$

где Vco_2 – объём емкости для накопления углекислого газа, м^3;

M_{cp} – молярная масса углекислого газа, кг/моль;

Результаты и их обсуждение. В ходе проведённых лабораторных исследований было установлено, что оптимальное вакуумметрическое давление в рабочем объёме герметичного контейнера при котором наблюдалось минимальное снижение всхожести семян яровой пшеницы было равно 0,66 Мпа.

Результаты наблюдения за изменением содержания кислорода и углекислого газа в воздушной смеси зерновой насыпи позволяющий контролировать характер дыхания зерна, представлены в виде графической зависимости на рисунке 1.

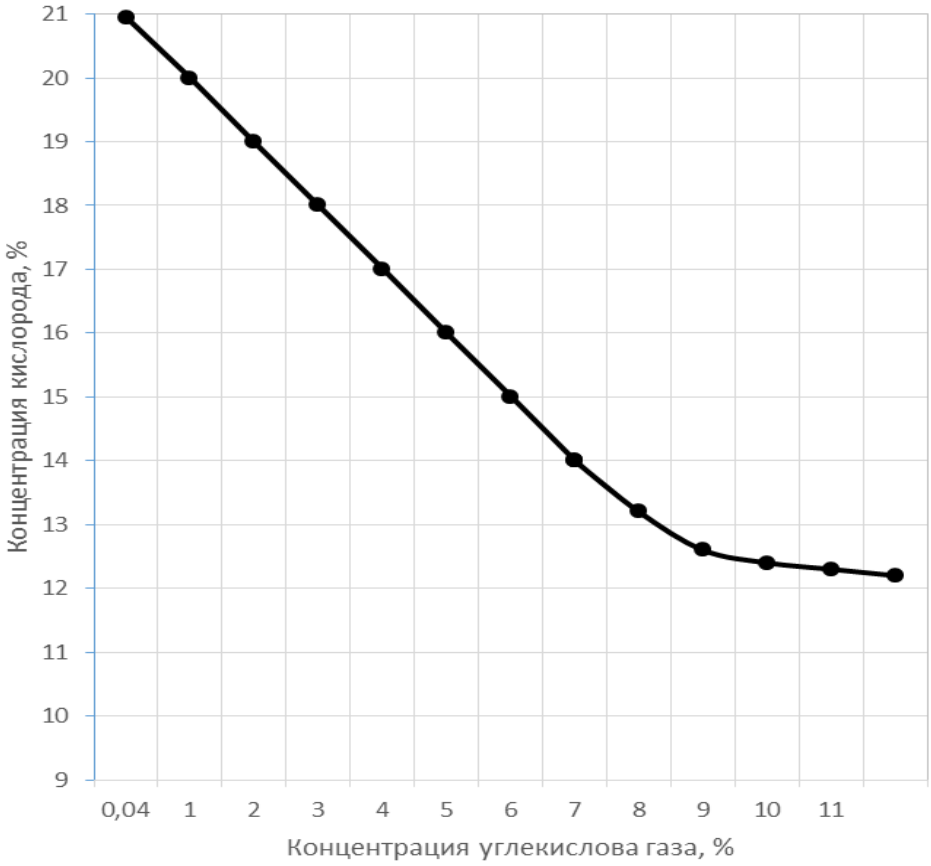


Рисунок 1 – График изменения вида дыхания зерна пшеницы, заложенной на хранение в герметичной емкости

Из графика (рисунок 1) видно, что процесс аэробного дыхания семенного зерна в герметичной емкости наблюдался до тех пор, пока концентрация кислорода в воздушной смеси, находящейся в межзерновом пространстве зерновой насыпи, не достигла значения 14,5 %. При дальнейшем нахождении зерна в герметичной емкости изменения содержания кислорода в воздушной смеси замедлилась. При этом стал наблюдаться рост содержания углекислого газа, что свидетельствовало о том, что зерно начало переходить на анаэробное дыхание. Концентрация кислорода в воздушной смеси продолжала снижаться до 12,2 %. После достижения этого значения снижение концентрации прекратилось. Из этого было сделано заключение, что при концентрации

кислорода в воздушной смеси 12,2 % зерно по всему объему контейнера перешло на анаэробное дыхание, поэтому для поддержания аэробного дыхания семян пшеницы в герметичном силосе необходимо обеспечить условия, при которых концентрация кислорода в воздушной смеси в нижних слоях не опускалась ниже 14 %, концентрация углекислого газа превышала 7%.

Вычисление объёма емкости для углекислого газа было проведено для герметичного контейнера с рабочим объёмом 1 $м^3$.

Масса углекислого газа при хранении семян яровой пшеницы имеющих скважность зерновой массы равную 0.4 и концентрации CO_2 в воздушной смеси 7 % составит 0.0105 кг. Тогда объем емкости для углекислого газа, рассчитанный по формуле (5) при наименее благоприятной температуре хранения зерна 293°К определится как:

$$V_{CO_2}=\frac{0{,}0105\cdot 8{,}314\cdot 293}{44.001\cdot 66000} = 0{,}0000088\ м^3=8{,}8л.$$

Таким образом, на основе анализа установлено, что емкость углекислого газа контейнера для хранения семян объемом 1 м3 должна составлять около 9 литров.

Выводы. Технология хранения семенного зерна в герметичном контейнере с регулируемой воздушной средой, и системой принудительной аэрации зерновой массы, может быть рекомендована для хранения семенного зерна. При этом необходимо создавать и поддерживать в рабочем объёме герметичного контейнера разряжение воздушной смеси в пределах 0,66 МПА. Принудительную аэрацию зерновой насыпи начинать при повышении содержания кислорода в воздушной смеси, находящемся в емкости накопителе углекислого газа выше 7%.

Список литературы

1. Трисвятский Л.А., Лесик Б.В., Курдина В.Н. Хранение сельскохозяйственных продуктов / Под общ. ред. Л.А. Трисвятского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1983 - 383с.

2. Пат. 2689732 Российская Федерация, МПК A01F 25/14 Устройство для хранения зерна в регулируемой газовой среде и способ его осуществления / М.Б. Латышенок, А.В. Ивашкин, В.А. Биленко . – № 2018113368; опубл. 28.05.2019, Бюл. №16.

3. Пат. № 2713802 Российская Федерация, МПК A01F 25/14 Устройство хранения зерна в регулируемой воздушной среде и способ его осуществления / М.Б. Латышенок, А.В. Ивашкин Н.М. Латышенок , В.А. Биленко , М.И. Голубенко . – № 2019112936, опубл. 07.02.2020, Бюл.№ 4.

4. Латышенок Н.М., Латышенок М.Б., Макаров В.А., Ивашкин А.В.Особенность хранения семенного зерна в герметичных контейнерах с регулируемой воздушной средой // Материалы 70-й Международной научно-практической конференции «Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса». – 2019. – С. 229-233.

5. Латышенок Н.М., Латышенок М.Б., Биленко В.А., Ивашкин А.В. Контейнерный способ хранения семенного зерна в малых фермерских хозяйствах // Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса». – 2018. – С. 58-62.

6. Латышенок М.Б. , Костенко М.Ю., Латышенок Н.М., Ивашкин А.В. Лабораторные исследования сохранности семенного зерна в контейнерах с разряженной атмосферой // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. - №3 (39). – С. 98 – 102.

References

1. Trisvyatskij L.A., Lesik B.V., Kurdina V.N. Hranenie sel'skohozyajstvennyh produktov / Pod obshch. red. L.A. Trisvyatskogo. - 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Kolos, 1983 - 383s.

2. Pat. 2689732 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 25/14 Ustrojstvo dlya hraneniya zerna v reguliruemoj gazovoj srede i sposob ego osushchestvleniya / M.B. Latyshenok, A.V. Ivashkin, V.A. Bilenko . – № 2018113368; opubl. 28.05.2019, Byul. №16.

3. Pat. № 2713802 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 25/14 Ustrojstvo hraneniya zerna v reguliruemoj vozdushnoj srede i sposob ego osushchestvleniya / M.B. Latyshenok, A.V. Ivashkin N.M. Latyshenok , V.A. Bilenko , M.I. Golubenko . – № 2019112936, opubl. 07.02.2020, Byul.№ 4.

4. Latyshenok N.M., Latyshenok M.B., Makarov V.A., Ivashkin A.V.Osobennost' hraneniya semennogo zerna v germetichnyh kontejnerah s reguliruemoj vozdushnoj sredoj // Materialy 70-j

Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Vklad universitetskoj agrarnoj nauki v innovacionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa». – 2019. – S. 229-233.

5. Latyshenok N.M., Latyshenok M.B., Bilenko V.A., Ivashkin A.V. Kontejnernyj sposob hraneniya semennogo zerna v malyh fermerskih hozyajstvah // Materialy 69-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Innovacionnoe nauchno-obrazovatel'noe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa». – 2018. – S. 58-62.

6. Latyshenok M.B., Kostenko M.YU., Latyshenok N.M., Ivashkin A.V. Laboratornye issledovaniya sohrannosti semennogo zerna v kontejnerah s razryazhennoj atmosferoj // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. - №3 (39). – S. 98 – 102.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Латышенок Михаил Борисович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: l907073@yandex.ru

Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: va_makarov@ rambler.ru.

Латышенок Надежда Михайловна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Слободскова Анастасия Анатольевна – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: nastasia_19882010@yandex.ru.

Ивашкин Алексей Викторович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru

Author credentials

Affiliations

Latyshenok Mikhail – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: l907073@yandex.ru.

Makarov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: va_makarov @ rambler.ru.

Latyshenok Nadezhda – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Slobodskova Anastasia – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: nastasia_19882010@yandex.ru.

Ivashkin Alexey – graduate student of of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 11.06.2020

УДК 631.735
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-47-52

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГРЕБНЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

[1]Башкирев Анатолий Петрович
[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шершнев Николай Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *При возделывании картофеля в современных условиях основное внимание уделяется использованию гребневых технологий. Предмет исследования – гребнеобразователь. При уходе за посадками картофеля применяются как пассивные так и активные рабочие органы гребнеобразующих машин. На легких почвах чаще используют культиваторы с окучниками, а на тяжелых почвах – гребнеобразователи с активными рабочими органами. Установлено, что для картофеля идеальная высота гребня составляет 16-18 см, а ширина верхушки - 18-23 см. Важно обеспечить указанную высоту гребня, потому что это защитит картофель от позеленения. Необходимо учитывать, что на супесчаной почве верхушку гребня делают на несколько сантиметров шире, чем на глинистой, так как на супесчаных почвах она склонна к осыпанию в течение вегетационного сезона и сильнее при поливе. Показано, что формирование гребней при использовании современных европейских технологий производится как самостоятельная операция через 1-2 недели после посадки или одновременно с посадкой при установке соответствующего гребнеобразующего модуля на картофелепосадочную машину-картофелесажалку типа GL 430. Картофелеводы стремятся получить высокообъемные гребни, у которых периметр поперечного сечения был не менее 90 см, высота 27- 30 см от дна борозды до их вершины независимо от ширины междурядья. Установлено, что проведение поливов гарантирует высокие и устойчивые урожаи картофеля независимо от погодных условий. В зависимости от почвенно-климатических условий вегетации картофеля необходимо от 3 до 5 вегетационных поливов. Показано, что осадки и полив картофеля не приводят к равномерному увлажнению по высоте гребня, что приводит к снижению урожайности до 15%.*

Ключевые слова: *картофель, гребни, гребнеобразователь, окучивание, сажалка, полив.*

ANALYSIS OF THE OPERATION OF FIELD SPRAYERS

[1]Bashkirev Anatoly
[1]Shvartz Anatoly
[1]Shershnev Nikolay
[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. *The main focus is on the use of comb technologies in the cultivation of potatoes in modern conditions. The subject of the study is a combing machine. When caring for planting potatoes, both passive and active working bodies of comb-forming machines are used. Cultivators with hills are often used on light soils, and on heavy soils, combing machines with active working bodies are used. It was found that for potatoes the ideal height of the crest is 16-18 cm, and the width of the apex is 18-23 cm. It is important to ensure the indicated height of the crest, because this will protect the potatoes from greening. It should be borne in mind that on the sandy soil the top of the ridge is made several centimeters wider than on clay soil, since on sandy soil it is prone to shedding during the growing season and is stronger when watering. It is shown that the formation of ridges using modern European technologies is carried out as an independent operation 1-2 weeks after planting or simultaneously with planting when installing the corresponding comb-forming module on a potato planter-potato planter type GL 430. Potato growers strive to obtain high-volume ridges with a cross-sectional perimeter of at least 90 cm and a height of 27-30 cm from the bottom of the furrow to their apex, regardless of the row spacing. It has been established that irrigation guarantees high and sustainable potato yields, regardless of weather conditions. Depending on the soil and climatic conditions of the potato vegetation, 3 to 5 vegetation irrigation is necessary. It is shown that precipitation and irrigation of potatoes do not lead to uniform moistening along the height of the ridge, which leads to a decrease in yield to 15 %.*

Keywords: *potatoes, combs, comb-forming, hilling, planting, watering,*

Введение. Производство картофеля с использованием гребней получило наибольшее распространение. Одно из основных условий, обеспечивающих получение высоких урожаев картофеля – создание мощного, рыхлого, хорошо аэрируемого пахотного слоя почвы [1]. Мировая практика показывает, что создание гребней и поиск оптимальной ширины междурядий, их формы варьируются в широких пределах (70 см, 75, 90, 140, 60 + 80, 50 + 90, 70 + 110, 110 + 30 см) (рисунок 1) и идет их дальнейшее совершенствование. Применение перспективных сельскохозяйственных машин, тракторов неуклонно ведет к увеличению ширины междурядий и создания гребня большого объема, что создает возможность рост урожайности картофеля и повышения его качества [2, 3, 4].

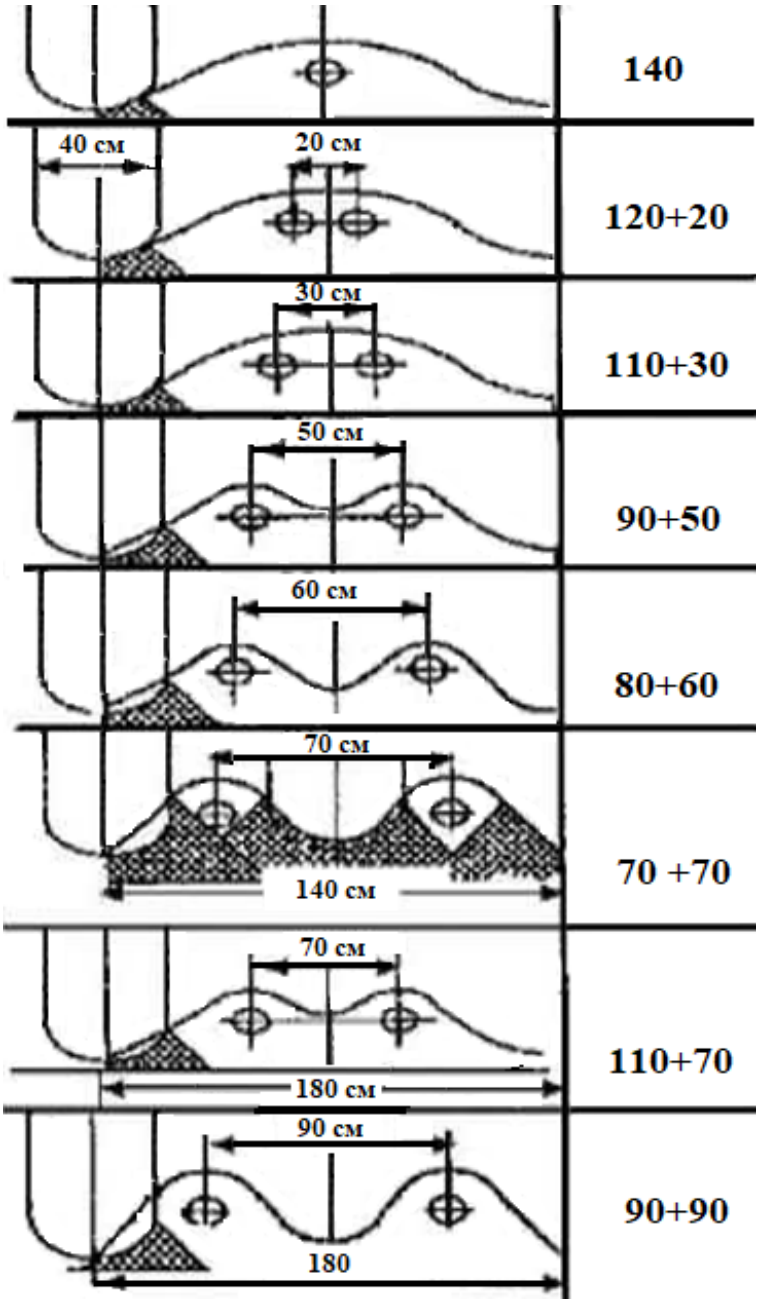


Рисунок 1 – Сечения гребней при различных способах посадки картофеля

В странах Центральной Европы стандартная ширина междурядий при возделывании картофеля составляет 75 см. На ближайшие несколько лет наиболее оптимальным с точки зрения повышения урожайности растений и универсализации сельскохозяйственных машин можно считать величину междурядья 75 см [5, 6]. Для хорошего развития клубней картофеля необходимо создавать мелкокомковатую структуру почвы и исключать ее распыление активными рабочими органами. Вспашка лемешными и оборотными плугами на глубину не менее 30 см, глубокие культивации и выравнивание почвы, нарезка гребней осенью или весной дает возможность провести посадку клубней картофеля в идеальные условиях и иметь большие шансы получить запланированный урожай. Существуют особенности применения гребневой технологии в зоне недостаточного и достаточного увлажнения почвы в вегетационный период [6, 7]. Современные технологии в своей значительной степени нацелены применять полив.

В настоящее время рекомендуются к применению следующие технологии производства картофеля:

– традиционная – на ровной поверхности с междурядьями 70 см;

– усовершенствованная гребневая, предусматривающая чизелевание почвы в процессе предпосадочной подготовки, междурядья 90 см и малооперационный уход за посадками с использованием фрезерных культиваторов;

– голландская – с малооперационной фрезерной обработкой почвы в процессе предпосадочной подготовки и ухода за посадками;

– грядовая по типу немецкой фирмы «Гримме», предусматривающая удаление камней и комков почвы из зоны формирования урожая (гряды) в междурядья в процессе предпосадочной обработки почвы.

Материалы и методы. В качестве предмета исследования выберем гребнеобразователь картофеля. Гребневая технология возделывания картофеля улучшает аэрацию почвы и обеспечивает хорошее качество работы картофелеуборочных комбайнов. На легких почвах целесообразна посадка картофеля по гладкой технологии, а на тяжелых по механическому составу почвах, необходимо проводить обработку почвы активными рабочими органами культиваторами – гребнеобразователями [8, 9].

При гребневой технологии возделывания применяют три вида нарезки гребней: осеннюю, весеннюю и – в процессе посадки заделывающими дисками картофелесажалок (которую иногда называют полугребневой). Образование гребней в осенний период обусловлено подготовкой почвы под ранние посадки раннеспелых сортов картофеля, создания условий быстрого просыхания и созревания почвы. Образование гребней в весенний период при посадке картофеля происходит при заделывании картофеля в борозде загортачами [10]. Образуется небольшой гребень, который закрывает картофель слоем почвы 5-6 см. При уходе за посадками картофеля для образования гребней применяются как культиваторы – окучники (КОН-2,8, АК-2,8 Л-802, ГО-2,8 и др., культиваторы – гребнеобразователи с пассивными рабочими органами (ОГК-4, КОН-2,8А-04 и др. так гребнеобразователи с активными рабочими органами (КГО-3, GH-4 (Grimme) и др.).

Для группового использования картофелесажалок при посадке больших площадей под картофель есть необходимость нарезания гребней в осенний период. Большую часть запланированной дозы внесения удобрений (РК) вносится под вспашку, но при необходимости удобрения можно вносить и при образовании гребней в осенний период. Припосевную дозу удобрений (NPK) вносят непосредственно при посадке картофеля в борозду картофелесажалками, которые распологаются чуть ниже глубины посадки с почвенной прослойкой.

Для быстрого прогревания почвы для посадки картофеля и в весенний период в зонах с избыточным увлажнением практикуют предварительную нарезку гряд. Она применима в Орловской области и в северной части ЦЧР. Чтобы не иссушать почву весной необходимо учитывать, что особенностью нарезания гребней в весенний период является их маленькая высота, которая показывает, что на этом поле почвоподготовка проведена на высоком качественном уровне.

В весенний период гребни образуются при посадке картофеля преимущественно заделывающими органами сажалок, которые можно настраивать на различную высоту.

В период ухода за посевами нацелена на использование гребнеобразователей, которые послойно, за несколько проходов могут вести борьбу с сорняками присыпая их. Это особенно важно для получения экологически чистой продукции.

Формирование гребней при использовании современных европейских технологий производится как самостоятельная операция через 1-2 недели после посадки (рисунок 1) или одновременно с посадкой при установке соответствующего гребнеобразующего модуля на картофелепосадочную машину- картофелесажалка типа GL 430. В обоих случаях картофелеводы желают получить высокообъемные гребни, у которых периметр поперечного сечения был не менее 90 см. Такие гребни имеют высоту 27...30 см от дна борозды до их вершины независимо от ширины междурядья. Такая правильная форма гребней получается за счет использования гребнеобразующих плит, установленных на пропашных культиваторах фрезерного типа ГР-4, GF 75-4 или с пассивными рабочими органами, а также на прицепных/навесных картофелесажалках КСМ-4 (рисунок 2).

Рисунок 2 – Работа гребнеобразователя до и после всходов картофеля

Представленная схема показывает, что первоначальный гребень, образованный картофелесажалкой, при дальнейшем гребнеобразовании создает необходимый и достаточный объем почвы для формирования высокоурожайного куста (рисунок 3).

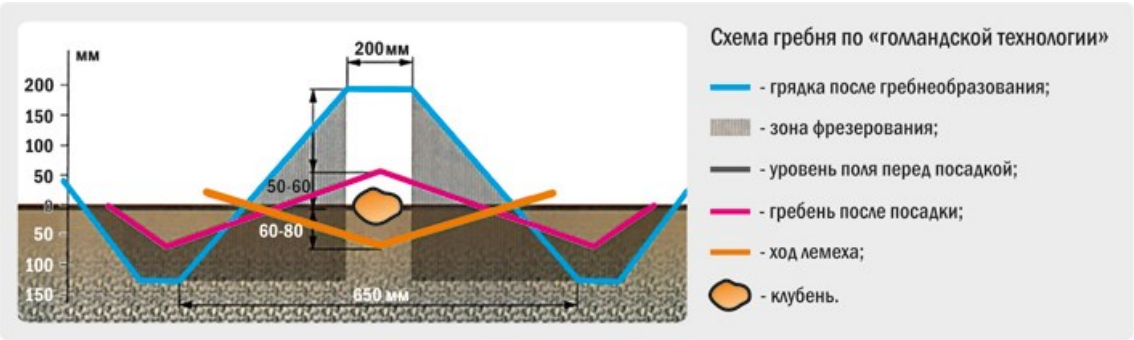


Рисунок 3 – Схема гребнеобразования

Картофель – требовательное к влажности почвы растение. Для нормального развития картофеля необходимо создавать такой режим водного питания растений, чтобы транспирационный коэффициент находился в пределах 170 – 660. Потребность во влаге изменяется у него по фазам развития. Вначале вегетационного развития картофеля ему не требуется большого количества влаги, так как есть еще значительные запасы влаги после зимы и в самом клубне. Наибольшее количество влаги картофелю требуется в период роста ботвы, цветения и до окончания роста ботвы. Критическим периодом является фаза от начала цветения до прекращения прироста ботвы. Недостаток влаги в почве в этот период приводит к сильному снижению урожая клубней. В этот период рекомендуется проводить поливы картофеля, чтобы поддерживать необходимую влажность почвы около 70 % полевой влагоемкости со снижением ее

до 60 % к моменту полного созревания клубней. Проведение поливов гарантирует высокие и устойчивые урожаи картофеля независимо от погодных условий. В зависимости от почвенно-климатических условий вегетации картофеля необходимое от 3 до 5 вегетационных поливов. Наиболее эффективный способ полива – дождевание. Поливная норма колеблется от 500 до 800 $м^3$/га. При использовании искусственного орошения для достижения требуемой влажности почвы внутри гребней требуется до 30 % меньше воды на посадках картофеля с использованием комбинации рыхлительной лапы, окучивающего корпуса и профильного пруткового катка.

Выводы:

1. Для условий черноземных и суглинистых почв ЦЧР целесообразно широко применять, при образовании гребней для картофеля, фрезерные культиваторы- гребнеобразователи.

2. Для картофеля идеальная высота гребня составляет 16–18 см, а ширина верхушки – 18-23 см. Важно обеспечить указанную высоту гребня, потому что это защитит картофель от позеленения. Необходимо учитывать, что на супесчаной почве верхушку гребня делают на несколько сантиметров шире, чем на глинистой, так как на супесчаных почвах она склонна к осыпанию в течение вегетационного сезона и сильнее при поливе.

3. Осадки и полив картофеля не приводят к равномерному увлажнению по высоте гребня, что приводит к снижению урожайности до 15 %.

Список литературы

1. Лахмаков В.С. Применение комбинированного гребнеобразователя в технологии производства картофеля // Агропанорама. – 2014. – № 2. – С. 4-6

2. Иваненко В.С. Режимы орошения и техника полива овощных культур: Рекомендации. М.: Россельхозиздат, 1985. – 39 с.

3. Долгов С.И. Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М.: Изд. АН СССР, 1948. – 208 с.

4. Давыдов С.В., Цепков Е.Д. Осенняя нарезка почвенных гребней, как лучший вариант сохранения влаги в почве // Мат. науч.-практ. конф. Вавиловские чтения 2009. - Саратов: Изд-во «КУБиК», 2009. – С. 229-230.ч

5. Возделывания картофеля и овощей по интенсивным технологиям // Сельскохозяйственные вести. – 2003. – № 6. – 35 с.

6. Вадюнина А.Ф., Корчагин З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. – С. 146-218.

7. Боков Д.В. Определение плотности почвы на дне борозды, образованной сошником // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – № 5. – 31 с.

8. Патент РФ № 2222131 А 01 В 79/02 Способ выращивания пропашных культур и устройство для его осуществления / В.И. Клименко. № 20011015995/12; заявл. 18.01.01; опубл. 27.01.04, Бюл. № 3.

9. Патент № 1635 А 01 В 35/16 Диско-зубовый рабочий орган культиватора-гребнеобразователя-окучника/ В. И. Клименко, В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, В. Н. Чеснык. № 20040098; заявл. 09.03.04; опубл. 16.07.04.

10. Башкирев А.П., Иванов Н.А. Особенности работы картофелесажалок // В сборнике: Молодежная наука - гарант инновационного развития АПК материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 195-198.

References

1. Lahmakov V.S. Primenenie kombinirovannogo grebneobrazovatelya v tekhnologii proizvodstva kartofelya // Agropanorama. – 2014. – № 2. – S. 4-6

2. Ivanenko B.C. Rezhimy orosheniya i tekhnika poliva ovoshchnyh kul'tur: Rekomendacii. M.: Rossel'hozizdat, 1985. – 39 s.

3. Dolgov S.I. Issledovanie podvizhnosti pochvennoj vlagi i ee dostupnosti dlya rastenij. M.: Izd. AN SSSR, 1948. – 208 s.

4. Davydov C.B., Cepkov E.D. Osennyaya narezka pochvennyh grebnej, kak luchshij variant sohraneniya vlagi v pochve // Mat. nauch.-prakt. konf. Vavilovskie chteniya 2009. - Saratov: Izd-vo «KUBiK», 2009. – S. 229-230.ch

5. Vozdelyvaniya kartofelya i ovoshchej po intensivnym tekhnologiyam // Sel'skohozyajstvennye vesti. – 2003. – № 6. – 35 s.

6. Vadyunina A.F., Korchagin Z.A. Metody issledovaniya fizicheskih svojstv pochv. M.: Agropromizdat, 1986. – S. 146-218.

7. Bokov D.V. Opredelenie plotnosti pochvy na dne borozdy, obrazovannoj soshnikom // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2004. – № 5. – 31 s.

8. Patent RF № 2222131 A 01 V 79/02 Sposob vyrashchivaniya propashnyh kul'tur i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / V.I. Klimenko. № 20011015995/12; zayavl. 18.01.01; opubl. 27.01.04, Byul. № 3.

9. Patent № 1635 A 01 V 35/16 Disko-zubovyj rabochij organ kul'tivatora-grebneobrazovatelya-okuchnika/ V. I. Klimenko, V. R. Petrovec, N. V. CHajchic, V. N. CHesnyk. № 20040098; zayavl. 09.03.04; opubl. 16.07.04.

10. Bashkirev A.P., Ivanov N.A. Osobennosti raboty kartofelesazhalok // V sbornike: Molodezhnaya nauka - garant innovacionnogo razvitiya APK materialy X Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. 2019. S. 195-198.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Шершнев Николай Сергеевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: shershnevnikola@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

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

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

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

Поступила в редакцию (Received): 29.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 02.06.2020

УДК 631.15:658.5:631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-52-60

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ БИОМАССЫ ПОСЕВОВ СОИ СИСТЕМОЙ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

[1]Зазуля Александр Николаевич
[1]Синельников Александр Алексеевич
[1]Стрыгин Сергей Петрович
[2]Портянкин Григорий Юрьевич

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

Аннотация. *Использование технологий точного земледелия, как комплексного средства управления природно-техногенными системами, является одним из наиболее эффективных*

методов развития сельскохозяйственной отрасли. Цель данной работы – мониторинг посевов сои в различные фазы развития растений, возделываемой по различным технологиям: традиционной, минимальной и нулевой. Состояние посевов оценивали с помощью системы «Агроаналитика», которая помогает определить: наличие влаги и интенсивность её испарения с поверхности почвы, равномерность всходов, очаги болезней растений, появления вредителей и сорняков, динамику развития биомассы и вегетационный индекс (NDVI) сельскохозяйственных культур на основе спутниковых снимков и съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) без использования сторонних сервисов. При проведении исследования по определению состояния посевов сои, при помощи спутниковой системы, были получены изображения снимков экспериментальных участков поля и индекс вегетации на различных фазах развития растений. В начальные фазы развития растений вегетационный индекс изменяется в пределах от 0,4 до 0,6, в дальнейшем развитии, в них увеличивается содержание хлорофилла, и возрастает вегетационный индекс от 0,75 до 0,8. В фазу плодообразования растения набирают максимальную зеленую массу и снимки с полей показывают наибольший NDVI, при созревании происходит снижение вегетационного индекса, после уборки урожая, поля, свободные от растительности, имеют вегетационный индекс 0,25 – 0,26. Урожайность сои, посеянной по традиционной, минимальной и нулевой технологиям, составила: 24, 20,3 и 18,3 ц/га. Отслеживая по карте NDVI динамику развития биомассы за любой отрезок времени, специалисты хозяйства могли сфокусировать внимание на полях с неоднородной растительностью, своевременно принять меры по устранению причин, применить дифференцированный подход к внесению удобрений и планировать уборочную в оптимальные сроки.

Ключевые слова: *соя, спутниковый мониторинг, биомасса, вегетационный индекс.*

ANALYSIS OF THE DYNAMICS DEVELOPMENT SOYA'S BIOMASS WITH SATELLITE MONITORING SYSTEM

[1]Zazulya Alexander
[1]Sinelnikov Alexander
[1]Strygin Sergei
[2]Portyankin Grigory
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]LLC "Smartagro"

Abstract. *The use of precision farming technologies as a comprehensive tool for managing natural and man-made systems is one of the most effective methods for developing the agricultural sector. The purpose of this work is to monitor soybean crops in different phases of plant development, cultivated using different technologies: traditional, minimal and no-till. Crop condition was assessed using a system of " Agroanaltika " which helps to determine the presence of moisture and the intensity of evaporation from the soil surface, uniformity of germination, centers of plant diseases, pests and weeds, the growth of the biomass and the vegetation index (NDVI) of agricultural crops based on satellite images and filming with unmanned aerial vehicles (UAVs) without the use of third-party services. During the study to determine the state of soybean crops, satellite images of experimental field plots and vegetation index at various stages of plant development were obtained. In the initial stages of plant development, the vegetation index varies from 0.4 to 0.6, in further development, they increase the content of chlorophyll, and the vegetation index increases from 0.75 to 0.8. in the fruit-forming phase, plants gain the maximum green mass and images from the fields show the highest NDVI, during maturation, the vegetation index decreases, after harvesting, fields free of vegetation have a vegetation index of 0.25 – 0.26. The yield of soybeans sown using traditional, minimal and no-till technologies was: 24, 20.3 and 18.3 C / ha. By tracking the dynamics of biomass development over any period of time using the NDVI map, farm specialists could focus on fields with heterogeneous vegetation, take timely measures to eliminate the causes, apply a differentiated approach to fertilization, and plan harvesting in the optimal time frame.*

Keywords: *soybean seeds, monitoring, biomass, vegetation index.*

Введение. Повышение эффективности производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции связано с обеспеченностью агропромышленного комплекса энергонасыщенной техникой нового поколения, высокоэффективными машинными технологиями, цифровыми системами и роботизированным оборудованием. [1, 2]

В настоящее время в сельском хозяйстве применяются системы спутникового мониторинга и съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые осуществляют наблюдение за состоянием полей, датчики на технике, позволяющие отслеживать и анализировать технологический процесс в реальном времени через систему спутниковой навигации ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) и GPS (Global Positioning System).

Системы дистанционного зондирования земли анализируют поверхность поля, уровень влаги и состояние посевов. Это позволяет оценить качество посевных работ, состояние посевов и почв, распространение сорняков, вредителей и болезней растений [3].

Состояние посевов оценивается по снимкам при помощи различных индексов: *SAVI* (soil adjusted vegetation index) – отражение от почвенного слоя; *SMI* (soil moisture index) – индекс влажности почвы; *LAI* – индекс листовой поверхности; *FRAP* – индекс фотосинтетической активной радиации, поглощаемый растительностью; *NDVI* (normalized difference vegetation index) - нормализованный относительный индекс растительности, показатель количества фотосинтетически активной биомассы (вегетационный индекс). Для решения задач с количественными оценками растительного покрова, индекс *NDVI* является самым распространенным и часто используемым. [4-7]

Вегетационный индекс широко используют в сельском хозяйстве. Преимуществом *NDVI* - индекса является легкость его получения, так как для вычисления индекса не требуется никаких дополнительных данных, кроме непосредственно самой космической съемки и знания ее параметров. Для сельскохозяйственных работ очень важно иметь качественные снимки с высокой четкостью обрисовки полей, градиентностью посевов и других особенностей отображения полученных снимков. По динамическим картам можно определить особенности сезонной вегетации, судить о ее нарушениях, оценить качество проведенных сельскохозяйственных операций, осуществлять планирование таких работ, как дифференцированное внесение минеральных удобрений и гербицидных обработок. На их основе возможна количественная оценка прогнозируемого урожая различных сельскохозяйственных культур. По динамическим картам можно судить о возможности использования *NDVI* при мониторинге реального использования земель, дать оценку эффективности севооборота, выявить заброшенные поля, отследить зарастание полей, осуществить слежение за эрозионными и другими динамическими процессами. [4, 8]

Однако любые вегетационные индексы дают только относительные оценки свойств растительного покрова и не предоставляют абсолютных количественных показателей исследуемого свойства, и их значения зависят как от характеристик фотокамеры, так и от условий съемки. [9]

Материалы и методы. Для мониторинга состояния посевов сои использовали систему управления сельхозпредприятием «Агроаналитика-IoT» [3], которая предназначена для сбора и оценки состояния биомассы растений на основе спутниковых снимков и съемок с беспилотных летательных аппаратов.

Для определения вегетационного индекса используется общеизвестная формула [5]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где отражения *NIR* - в ближней инфракрасной области спектра; *RED* - в красной области спектра.

Согласно вышеприведенному выражению, плотность растительности (*NDVI*) в определенной точке изображения – это отношение разницы интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне к сумме их интенсивностей, при этом *NDVI* - индекс для растительности имеет положительные значения, которые тем выше, чем больше зеленая масса растений. Значение индекса зависит также от цвета почвы под разреженной растительностью, типа растительности, ее сомкнутости, состояния, угла наклона поверхности и т.д. [9].

Для расчета *NDVI* используют два наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения растений. Максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений

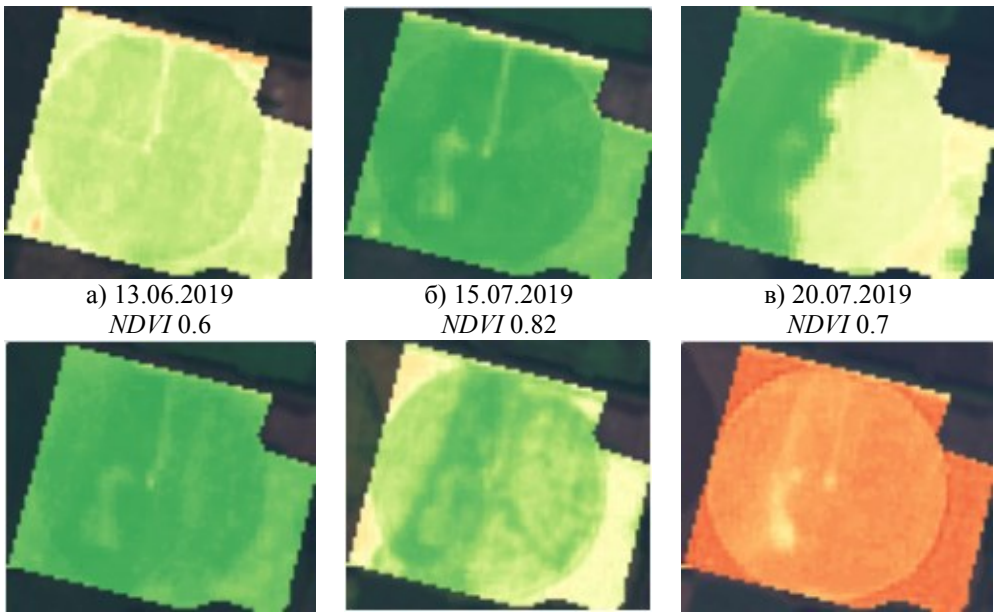
находится в красной области спектра с длиной волны 0,6-0,7 мкм, область максимального отражения клеточных структур листа находится в инфракрасной области с длиной волны 0,7-1,0 мкм. Следовательно, для высокой фотосинтетической активности (связанной обычно с густой растительностью) характерно меньшее отражение в красной области спектра и большее - в инфракрасной. По отношению этих показателей друг к другу, можно четко выделить растительные объекты среди других природных объектов и проанализировать область максимального отражения клеточных структур листа. Если использовать вместо простого отношения нормализованную разность между минимумом и максимумом отражений, то точность измерения увеличится, что позволит уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой. [4, 10, 11]

Для определения вегетационного индекса можно использовать любые снимки, имеющие спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). Алгоритм расчета *NDVI* заложен во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView и др.). [4, 10 - 12]

Результаты и обсуждение. Мониторинг посевов сои, возделываемой по различным технологиям, проводились лабораторией «Использование машинно-тракторных агрегатов» ФГБНУ ВНИИТиН на опытных участках. Для этого были посеяны три экспериментальных участка поля соей по традиционной, минимальной и нулевой технологиям. Наблюдения за развитием сои осуществлялись от момента посева семян до уборки урожая. [13]

На рисунках 1 – 3 представлены изменение вегетационного индекса, динамика развития биомассы сои в различных фазах вегетации: а – фаза двух - трех трехлистников; б – фаза бутонизация - цветение, в – фаза плодообразования, г – завершающий этап образования бобов, д – созревание, е – уборка.

На рисунке 1 представлены изображения изменения вегетационного индекса обследуемого поля сои, возделываемого по традиционной технологии.

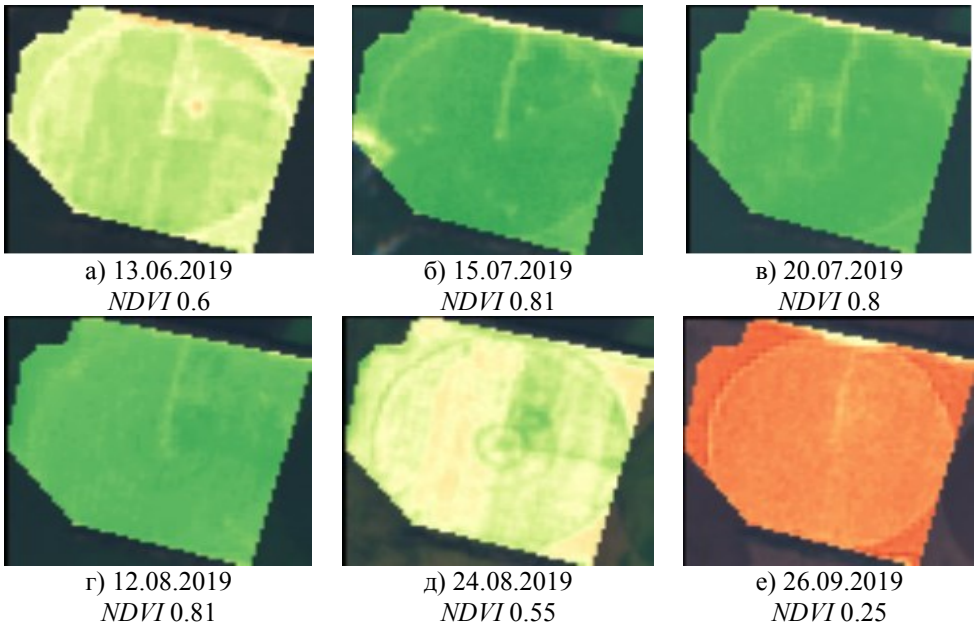


а) 13.06.2019 *NDVI* 0.6 б) 15.07.2019 *NDVI* 0.82 в) 20.07.2019 *NDVI* 0.7

г) 12.08.2019 *NDVI* 0.82 д) 24.08.2019 *NDVI* 0.67 е) 26.09.2019 *NDVI* 0.26

Рисунок 1 – Изменение вегетационного индекса поля сои, традиционная

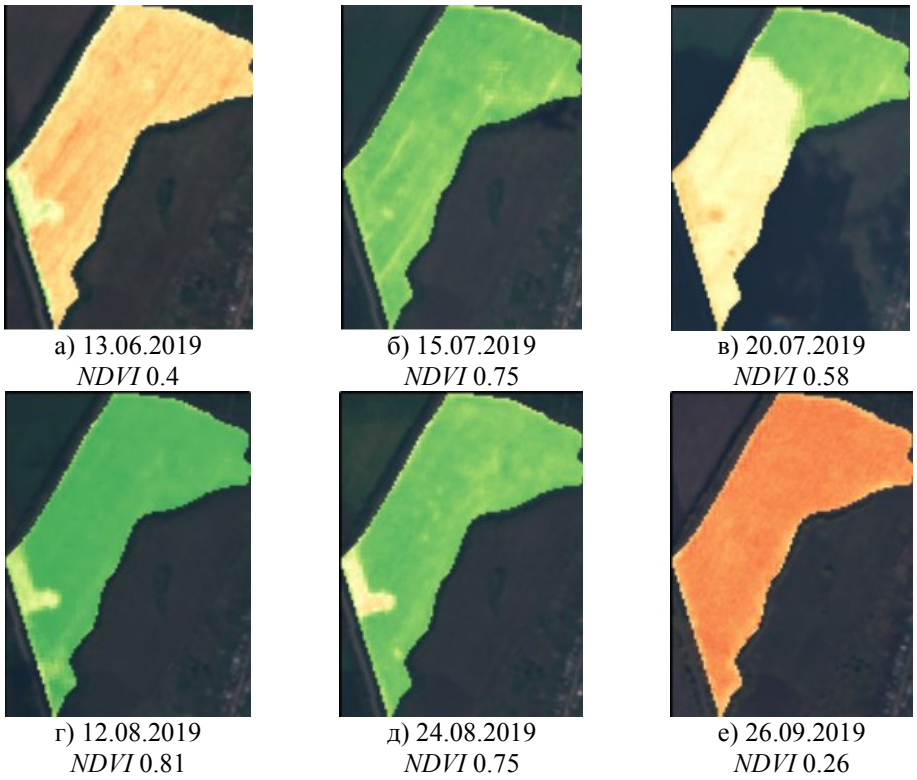
На рисунке 2 представлены изображения изменения вегетационного индекса обследуемого поля сои, возделываемого по минимальной технологии.



а) 13.06.2019 *NDVI* 0.6
б) 15.07.2019 *NDVI* 0.81
в) 20.07.2019 *NDVI* 0.8
г) 12.08.2019 *NDVI* 0.81
д) 24.08.2019 *NDVI* 0.55
е) 26.09.2019 *NDVI* 0.25

Рисунок 2 – Изменение вегетационного индекса поля сои, минимальная

На рисунке 3 представлены изображения изменения вегетационного индекса обследуемого поля сои, возделываемого по нулевой технологии.



а) 13.06.2019 *NDVI* 0.4
б) 15.07.2019 *NDVI* 0.75
в) 20.07.2019 *NDVI* 0.58
г) 12.08.2019 *NDVI* 0.81
д) 24.08.2019 *NDVI* 0.75
е) 26.09.2019 *NDVI* 0.26

Рисунок 3 – Изменение вегетационного индекса поля сои, нулевая

Как видно из рисунков, в начальные фазы развития, когда растения не полностью покрывают почву, вегетационный индекс изменяется в пределах от 0,4 до 0,6. При дальнейшем развитии, в фазах ветвление, бутонизация, цветение, растения практически полностью закрывают поверхности почвы, в них увеличивается содержание хлорофилла и, соответственно, возрастает вегетационный индекс от 0,75 до 0,82. В фазу плодообразования растения набирают максимальную зеленую массу и снимки с полей показывают наибольший *NDVI* - индекс. При созревании, листья у сои желтеют и опадают, бобы теряют окраску и становятся жесткими, происходит снижение вегетационного индекса. После уборки урожая, поля, свободные от растительности, имеют вегетационный индекс 0,25 – 0,26.

Во время вегетации наблюдалось снижение *NDVI* (20.07.2019), что связано с остаточным последействием пестицидной обработки. Также на рисунке 3(г, д) видны участки поля с неоднородной растительностью и низким *NDVI*, что может быть связано с дефицитом удобрений.

На рисунках 4 – 6 представлены динамика развития сои от момента посева семян до уборки урожая. На рисунке 4 представлена динамика развития сои, возделываемой по традиционной технологии, от посева до уборки урожая.

Рисунок 4 – Динамика развития биомассы сои, традиционная

Как видно из графика рисунка 4 индекс биомассы динамически менялся по мере развития растений. По мере созревания растений, образования бобов снижается содержание хлорофилла и уменьшаются показания вегетационного индекса. Также во время вегетации наблюдалось падение *NDVI*, в третью декаду июня (с 20.06.2019 по 1.07.2019), что связано с гербицидной обработкой полей. Так как гербициды уничтожают сорные растение и оказывают угнетающее воздействие на культурные растения, происходит, на общем фоне поля, снижение хлорофилла в растениях, что ведет к падению показаний вегетационного индекса. В дальнейших стадиях роста и развитии, растения выходят из стрессового состояния, увеличивается содержания хлорофилла в них, и возрастает вегетационный индекс.

На рисунке 5 представлена динамика развития сои, возделываемой по минимальной технологии, от посева до уборки урожая.

Рисунок 5 – Динамика развития биомассы сои, минимальная

Как видно из графика рисунка 5, изменение индекса биомассы происходило схоже с динамикой роста на поле, возделываемой по традиционной технологии (рисунок 4). Также во время вегетации наблюдалось падение *NDVI*, в третью декаду июня (с 20.06.2019 по 1.07.2019), связанное с гербицидной обработкой, в следствии засыхания и уничтожения сорных растений.

На рисунке 6 представлена динамика развития сои, возделываемой по нулевой технологии, от посева до уборки урожая.

Рисунок 6 – Динамика развития биомассы сои, нулевая

Как видно из графика рисунка 6 индекс биомассы динамически менялся по мере развития растений. По мере созревания растений, образования бобов снижается содержание хлорофилла и уменьшаются показания вегетационного индекса. Также во время вегетации наблюдалось падение *NDVI* (20.07.2019), что связано с остаточным последействием пестицидной обработки.

В результате, урожайность сои, посеянной по традиционной, минимальной и нулевой технологиям, составила: 24, 20,3 и 18,3 ц/га соответственно. [13]

Заключение. Отслеживая по карте *NDVI* динамику развития биомассы, агроном может своевременно принять меры по устранению причин на полях с неоднородной растительностью. Это касается в первую очередь водонасыщенности почвы, состояния листовой поверхности растений при недостатке удобрений и микроэлементов, необходимых для роста и развития растений в фиксируемом периоде времени, а также качество проведения защитных мероприятий.

Список литературы

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 7. – С. 2-7.

2. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // Техника и оборудование для села. 2019. – № 6. – С. 2-9.

3. Агроаналитика. Возможности системы [Электронный ресурс] // Режим доступа : http://smartagro.ru/functions (Дата обращения: 10.09.2019).

4. Дубинин М.Ю. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс] // Режим доступа : http://gis-lab.info/qa/ndvi.html (Дата обращения: 8.02.2019).

5. Crippen R.E. Calculating the vegetation index faster / Remote Sensing of Environment. – 1990. – № 34. – P. 71-73.

6. Huete A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) / Remote Sensing of Environment. – 1988. – V. 25. – № 3. – P. 295-309.

7. Lopes H.L., Accioly L.J.O., da Silva F.H.B.B., Sobral M.D.C.M., de AraújoFilho J.C., Candeias A.L.B. Spatial distribution of soil moisture using land surface temperature and vegetation indices / RevistaBrasileira de Engenharia Agricola e Ambiental. – 2011. – V. 15. – №3. – P. 973 -980.

8. Prishepov V.A., Müller D., Dubinin M., Bauman M., Radeloff V.C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia / Land Use Policy. – 2013. – №3. – P. 873 -884.

9. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / Геоматика. – 2009. – №3. – С. 28-32.

10. Radeloff V.C., Dubinin M., Helmers D.P., Pidgeon A.M., Razenkova E., Suttidate N., Zhu L., Hobi M.L., Kolesov D., Coops N.C., Allen A.M., Brooks T.M., Clayton M.K., Costa G.C., Graham C.H., Ives A.R., Rapacciuolo G., Young B.E. The Dynamic Habitat Indices (DHIs) from MODIS and global biodiversity / Remote Sensing of Environment. – 2019. – T. 222. – P. 204-214.

11. Руснак И.О. Прогнозирование урожайности сельхозкультур на основе дистанционного зондирования из космоса // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2012. – №1. – С. 41 -42.

12. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. / Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. – 808 с.

13. Завражнов А.И., Зазуля А.Н., Балашов А.В., Синельников А.А., Стрыгин С.П., Беляев А.А. Результаты производственных исследований зарубежного агрегата на посеве сои возделываемой по различным технологиям // Наука в центральной России. – 2020. – № 1. – С. 36 – 43.

References

1. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., SHogenov YU.H. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i cifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnyh grupp sel'skohozyajstvennoj produkcii // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2018. – № 7. – S. 2-7.

2. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., SHogenov YU.H. Razvitie intensivnyh mashinnyh tekhnologij, robotizirovannoj tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i cifrovyh sistem v agropromyshlennom komplekse // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2019. – № 6. – S. 2-9.

3. Agroanalitika. Vozmozhnosti sistemy [Elektronnyj resurs] // Rezhim dostupa : http://smartagro.ru/functions (Data obrashcheniya: 10.09.2019).

4. Dubinin M.YU. NDVI – teoriya i praktika [Elektronnyj resurs] // Rezhim dostupa : http://gis-lab.info/qa/ndvi.html (Data obrashcheniya: 8.02.2019).

5. Crippen R.E. Calculating the vegetation index faster / Remote Sensing of Environment. – 1990. – № 34. – P. 71-73.

6. Huete A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) / Remote Sensing of Environment. – 1988. – V. 25. – № 3. – P. 295-309.

7. Lopes H.L., Accioly L.J.O., da Silva F.H.B.B., Sobral M.D.C.M., de AraújoFilho J.C., Candeias A.L.B. Spatial distribution of soil moisture using land surface temperature and vegetation indices / RevistaBrasileira de Engenharia Agricola e Ambiental. – 2011. – V. 15. – №3. – P. 973 -980.

8. Prishepov V.A., Müller D., Dubinin M., Bauman M., Radeloff V.C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia / Land Use Policy. – 2013. – №3. – P. 873 -884.

9. CHerepanov A.S., Druzhinina E.G. Spektral'nye svojstva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy / Geomatika. – 2009. – №3. – S. 28-32.

10. Radeloff V.C., Dubinin M., Helmers D.P., Pidgeon A.M., Razenkova E., Suttidate N., Zhu L., Hobi M.L., Kolesov D., Coops N.C., Allen A.M., Brooks T.M., Clayton M.K., Costa G.C., Graham C.H., Ives A.R., Rapacciuolo G., Young B.E. The Dynamic Habitat Indices (DHIs) from MODIS and global biodiversity / Remote Sensing of Environment. – 2019. – T. 222. – P. 204-214.

11. Rusnak I.O. Prognozirovanie urozhajnosti sel'hozkul'tur na osnove distancionnogo zondirovaniya iz kosmosa // Ekonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayushchih predpriyatij. – 2012. – №1. – S. 41 -42.

12. Gringof I.G., Kleshchenko A.D. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. Tom I. / Potrebnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur v agrometeorologicheskih usloviyah i opasnye dlya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva pogodnye usloviya. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2011. – 808 s.

13. Zavrazhnov A.I., Zazulya A.N., Balashov A.V., Sinel'nikov A.A., Strygin S.P., Belyaev A.A. Rezul'taty proizvodstvennyh issledovanij zarubezhnogo agregata na poseve soi vozdelyvaemoj po razlichnym tekhnologiyam // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 1. – S. 36 – 43.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Синельников Александр Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

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

Портянкин Григорий Юрьевич – генеральный директор ООО «Смартагро», Россия, г. Тамбов, e-mail: g.portyankin@smartagro24.ru.

Author credentials
Affiliations

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

Sinelnikov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Strygin Sergei – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: sew1982@gmail.com.

Portyankin Grigory – General Director of LLC "Smartagro", Russia, Tambov, e-mail: g.portyankin@smartagro24.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.02.2020 Принята к публикации (Accepted): 08.06.2020

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-60-67

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПШЕНИЦЫ С КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЛИННОЙ ПРИМЕСИ

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

Реферат. *Известно, что на качественные показатели триерной очистки зерносмесей от длинных примесей оказывает влияние множество факторов, один из которых – содержание примесного компонента в зерносмеси. Для установления взаимосвязей качественных показателей процесса триерной очистки зерна от длинных примесей с величиной исходной засоренности использовали разработанный нами ранее стенд для исследований ячеистых поверхностей циклического действия. Установлено, что при увеличении исходной засоренности зерносмеси от 1% до 2% количество захваченных примесных частиц при наличии полноценного циркулирующего сегмента выросло в 4 раза. При увеличении засоренности до 3% их число возросло еще на 26%. Экспериментально установлено, что остаточная засоренность выросла в 2,33 раза при увеличении исходной засоренности от 1% до 2% и еще в 1,64 раза при увеличении исходной засоренности до 3%. При увеличении продолжительности процесса стендовой очистки зерна от длинных примесей остаточная засоренность очищенного зерна возрастает, а расчетные потери полноценного зерна в отходы снижается. Достижение заданного уровня остаточной засоренности в 0,1% увеличивает потери в 2,27 раза при увеличении исходной засоренности от 1% до 2% и еще в 1,21 раза при росте засоренности до 3%. Если регламентировать неизбежные потери полноценного зерна на уровне 2%, то остаточная засоренность очищенного продукта составит 0,05%, 0,13% и 0,17%для исходной засоренности соответственно 1%, 2% и 3%.*

Ключевые слова: *овсюжный триер, зерно, очистка, качество, длинные примеси, остаточная засоренность, потери.*

RELATIONSHIP BETWEEN THE QUALITY OF TRIER CLEANING OF WHEAT AND THE CONCENTRATION OFLONG IMPURITY

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

Abstract. *It is known that many factors, one of which is the content of the impurity component in the grain mixture, affects the quality indicators of the trimeric cleaning of grain mixtures from long impurities The previously developed test bench for studying cellular surfaces of cyclic action was used to establish the relationships between the quality indicators of the process of grain cleaning from long impurities with the value of the initial clogging. It was found that with an increase in the initial contamination of the grain mixture from 1% to 2%, the amount of trapped impurity particles in the presence of a full circulating segment increased 4 times. Their number increased by another 26% with an increase in weediness to 3%. It was experimentally established that the residual debris increased 2.33 times with an increase in the initial debris from 1% to 2% and another 1.64 times with an increase in the initial debris to 3%. The residual contamination of refined grain increases with an increase in the length of the process of bench cleaning of grain from long impurities, and the estimated loss of full grain in waste decreases. Achieving a predetermined level of residual debris of 0.1% increases losses by 2.27 times with an increase in initial debris from 1% to 2% and an additional 1.21 times with an increase in debris to 3%. If we regulate the inevitable loss of full grain at the level of 2%, then the residual contamination of the purified product will be 0.05%, 0.13% and 0.17% for the initial contamination, respectively 1%, 2% and 3%.*

Keywords: *oatmeal trier, grain cleaning, quality, long impurities, residual clogging, losses*

Введение. На качество процесса выделения длинных примесей из зерносмесей существенное влияние оказывает множество факторов. Среди них – производительность триера, обуславливающая изменение параметров циркулирующего сегмента зерносмеси по длине ячеистого цилиндра [1-5]. Ее величина определяет наличие и длину свободной ячеистой поверхности, влияет на полноту выделения длинных примесей. Качество триерной очистки зерна также зависит от углового положения выводного лотка [6-7], скоростного режима работы триера [8-9]. Кроме того чистота получаемого зерна зависит от исходной засоренности зерносмеси длинными примесями. В нормативно-технической документации на триерные блоки [10-12] нет регламентов их работы, связанных с качеством процесса очистки, а в литературе отсутствуют исследования по влиянию исходной засоренности на чистоту получаемого продукта, что определяет актуальность выполненных исследований.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились на разработанном нами стендовом оборудовании циклического действия [13-15], рисунок 1.

Рисунок 1 – Стенд для исследований ячеистых поверхностей

Параметры стенда, исследуемые факторы, диапазоны и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия экспериментов

Наименование параметра	Усл. обозн.	Ед. изм.	Диапазон варьирования	Значения
Диаметр ячеистого цилиндра	$d_ц$	м	—	0,6
Длина ячеистого цилиндра	$l_ц$	м	—	0,35
Скорость вращения цилиндра	n	об/мин	30–45	30; 35; 40; 45
Масса навески	$m_н$	кг	4,9	4,9
Угловое положение выводного лотка	$\gamma_п$	град	10–40	10; 20; 30; 40
Исходная засоренность	$З_и$	%	1–3	1; 2; 3

В качестве рабочей среды использовалась зерносмесь пшеницы с овсюгом. Для обеспечения чистоты эксперимента овсюг был отобран таким образом, чтобы длина всех его частиц превышала диаметр ячей цилиндра. Средняя длина частиц овсюга составила 12,54 мм.

При исследованиях процесса триерной очистки зерна с помощью указанного стенда масса навески изменялась в диапазоне от 0,6 до 7,7 кг [2, 3]. В серии опытов по установлению взаимосвязи качества триерной очистки пшеницы с концентрацией длинной примеси величина массы навески зафиксирована на уровне 4,9 кг.

Последовательность проведения экспериментов следующая. В ячеистый цилиндр стенда загружалась навеска зерносмеси, затем включался привод. Захваченные ячеистой поверхностью зерновки направлялись в выводной лоток и выгружались из него в сборные емкости, которые сменяли через равные интервалы времени. По окончании опыта навески разбирали вручную на компоненты и определяли показатели качества процесса триерной очистки для каждого интервала времени замеров: интервальная засоренность, остаточная засоренность очищенного зерна на момент времени окончания замеров, степень выделения зерновок основной культуры и примесного компонента, потери основной культуры.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований качества процесса стендовой очистки пшеницы от овсюга при исходной засоренности 1 % нами подробно рассмотрены в работе [3]. Увеличение концентрации примесного компонента до 2 % привело к повышению остаточной засоренности от 0,06 % до 0,138 %, а потери основного компонента сохранились на прежнем уровне относительно результатов при идентичных режимах работы и исходной засоренности в 1 %, рисунок 2.

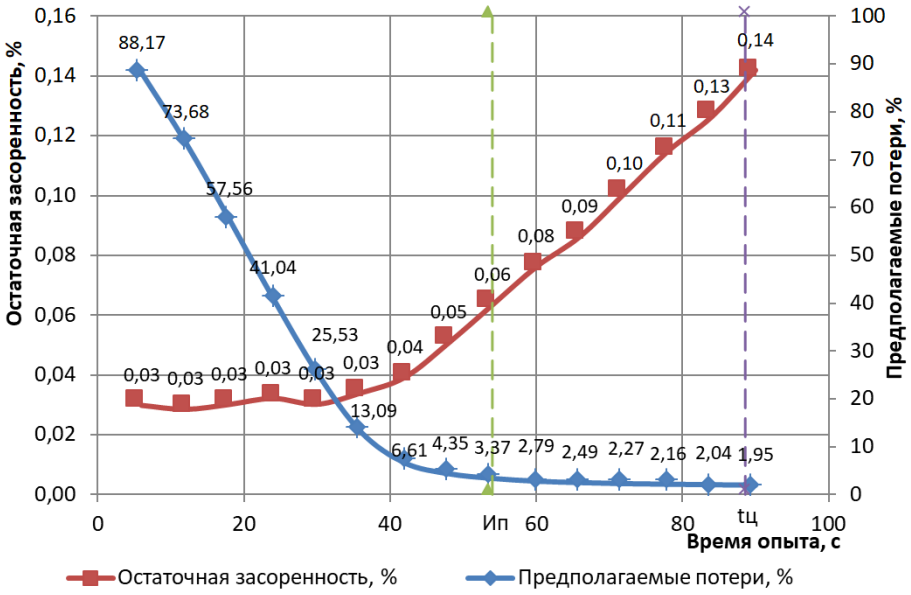


Рисунок 2 – Качественные показатели процесса при: $m_н$=4,9 кг; n=35 об/мин; $\gamma_п$= 40^0; $З_и$=2%

Переходное состояние сегмента, когда при уменьшении массы зерносмеси в цилиндре наступает разрушение его сплошности, сместилось по времени на 1 интервал замеров в сравнении с результатами при $З_и$ = 1 %.

Остаточная засоренность зерна, выделенного на этот момент составила 0,06 %, расчетные потери основной культуры – 3,37 %. Засоренность $З_i$ в первых 6-ти интервалах изменялась в пределах 0,02 – 0,06 % (в среднем 0,04), затем существенно увеличивалась и в переходном интервале составила 1,28 %, что в 32 раза больше. Величина $З_i$ в 15 интервале составила 14,27 %. Степень выделения зерновок основной культуры сохранилась на том же уровне. Общее количество попавших в лоток примесных частиц увеличилось в 2,1 раза, что пропорционально росту исходной концентрации примеси в сегменте. Захват примесных частиц в первых 4-х интервалах времени замеров увеличился в 4 раза относительно предыдущего опыта, рисунок 3.

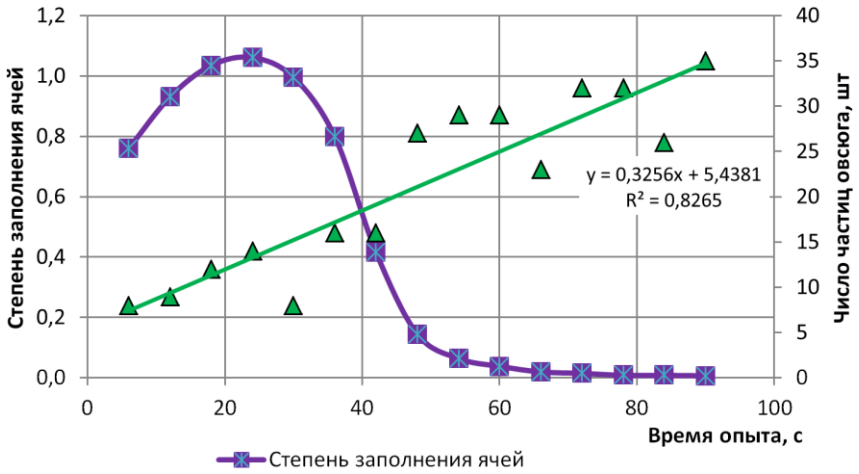


Рисунок 3 – Степень заполнения ячей и захват частиц овсюга при: $m_н$=4,9 кг; n=35 об/мин; $\gamma_п$=40^0; $З_и$=2%

Соотношение интервальных захватов примесных частиц ячеями в последних интервалах относительно начальных составляет 2,7, что подтверждает общую закономерность увеличения захвата и выброса примесных компонентов в отводной лоток по мере уменьшения сегмента зерносмеси при его осевом перемещении вдоль ячеистого цилиндра.

Степень заполнения ячей зерновками основной культуры идентична результатам с засоренностью 1 %, так как увеличение $З_н$ на 1 % не существенно влияет на процесс. Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 3 % также не оказало влияния на степень выделения зерновок основной культуры и степень заполнения ячей зерновками. Они остались на том же уровне относительно опытов, где исходная засоренность зерносмеси составляла 1-2 %. Количество примесных частиц, захваченных и выброшенных на первых 4-х интервалах времени замеров выросло на 26% относительно результатов с исходной засоренностью зерносмеси в 2 %. Это объясняется тем, что на начальном участке циркулирующих слоев больше (12,5 шт.), они в большей степени препятствуют проникновению примесных частиц к ячеистой поверхности. Общее количество примесных частиц, попавших в выводной лоток, увеличилось на 62 %.

На заключительном этапе опыта (8 последних интервалов замеров) количество примесных частиц, попавших в выводной лоток, резко возросло при исходной концентрации примеси в 3 %, что подтверждает предположения многих ученых о захвате свободными ячеями длинных примесных частиц. Средний выброс примесных частиц на последних интервалах времени замеров в 3,4 раза превосходит средний выброс примесных частиц на первых 4-х интервалах времени замеров.

Если принять во внимание, что контрольных интервалов на заключительном этапе опыта вдвое больше, то вклад в остаточную засоренность свободного участка ячеистой поверхности в 6 – 7 раз превышает вклад загруженной поверхности ячеистого цилиндра.

Остаточная засоренность зерна возросла до 0,23 %, рисунок 4, что в 1,6 раза превышает результаты опыта с исходной засоренностью зерносмеси в 2 %.

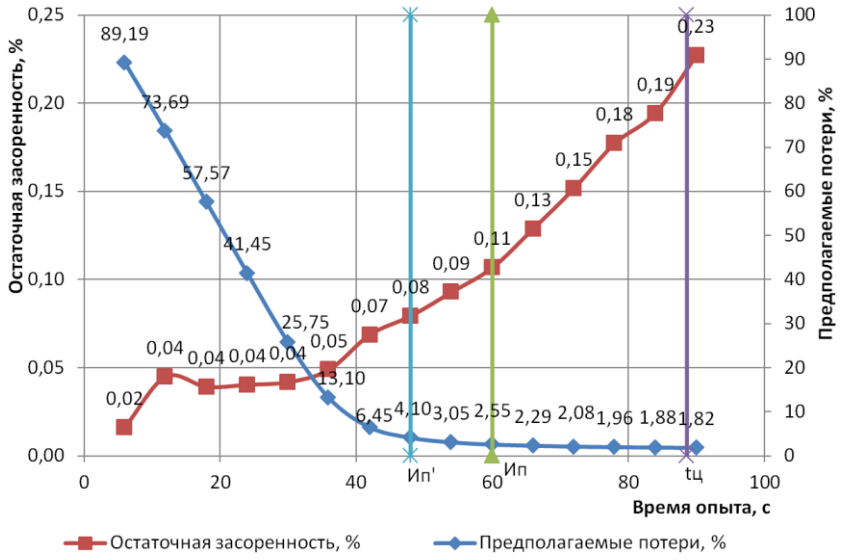


Рисунок 4 – Показатели качества процесса при: $m_н$ = 4,9кг; n = 35 об/мин; $\gamma_n = 40^0$; $З_и$ = 3%

Из рисунка 4 видно, что в 10-ом – переходном интервале остаточная засоренность выделенного зерна составила 0,11 %. Это втрое превышает среднее значение показателя в первых 5-ти интервалах, а соответствующее соотношение в опытах с исходной засоренностью $З_и$ = 1 % составляло 1,5…2. Величина расчетных технологических потерь составила 2,55 %.

Для принятого условия формирования полноценного сегмента в переходном интервале масса оставшейся зерносмеси на начало интервала должна быть не менее 250 г [2]. При исходной засоренности $З_и$ = 1 % доля овсюга в переходном сегменте не превышает 19 %, изменение числа слоев в сегменте по времени опыта имеет характер, близкий к линейному [3]. С увеличением засоренности до $З_и$ = 3 % содержание овсюга в сегменте на начало переходного интервала составило 56,8 %, в связи с чем, характер кривой изменения числа слоев в сегменте по времени опыта существенно отличается, рисунок 5.

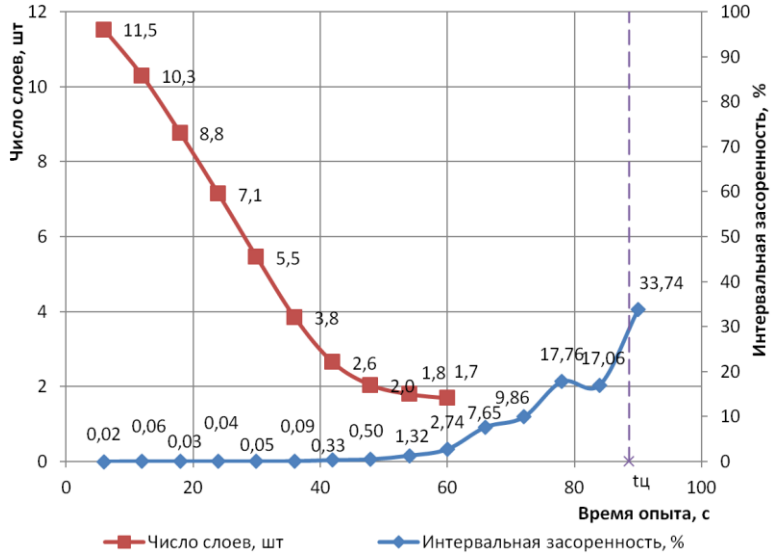
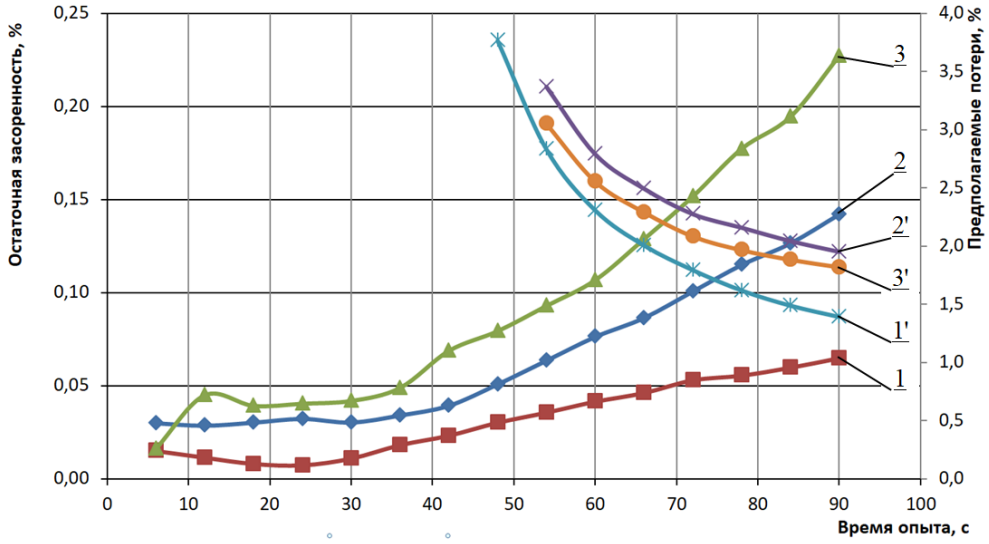


Рисунок 5 – Влияние количества зерносмеси в цилиндре на интервальную засоренность при: $m_н$ = 4,9 кг; n = 35 об/мин; $\gamma_n = 40^0$; $З_и$ = 3 %

Характер изменения числа слоев при $З_и$ = 3 % идентичен соответствующей кривой при $З_и$ = 1 % только до 8-го интервала. На второй половине ячеистого цилиндра интервальная засоренность $З_i$ составила 0,50 %, что в 10,4 раза больше среднего значения $З_i$ за первые 6 интервалов. Это соответствует соотношению величин этих показателей в опытах при $З_и$ = 1%. В 10-ом (переходном) интервале $З_i$ = 2,74, что в 57,1 раз больше, чем на загруженных участках. Кроме того, расчетные технологические потери после 8-го интервала составили 4,10 % (рисунок 4), что соответствует величине потерь после переходного интервала в опытах при $З_и$ = 1 %. Их значения при $\gamma_п$= 30 – 400 находятся в пределах 2,99 – 4,17 %.

Масса зерносмеси в цилиндре, приходящаяся на начало 8-го интервала составляет 460 г, а на конец цилиндра – 344 г. Масса пшеницы (без учета массы овсюга) при этом составляет соответственно 316 г и 201 г, что соответствует массе переходного интервала по [2]. Таким образом, переходный интервал следует определять по массе, оставшейся в цилиндре пшеницы (на рисунке 4 – вертикаль $И'_п$), а не зерносмеси (вертикаль $И_п$).

Влияние исходного содержания длинных примесей в зерносмеси на качество триерной очистки существенно, рисунок 6.



1, 2, 3 – Остаточная засоренность при исходной засоренности соответственно 1%, 2%, 3%
1', 2', 3' – Расчетные потери при исходной засоренности соответственно 1%, 2%, 3%

Рисунок 6 – Влияние исходной засоренности на качество процесса при: $m_н$ = 4,9 кг; n = 35 об/мин; $\gamma_п = 40^0$; $З_и$ = 1-3 %

Из рисунка 6 видно, что существует устойчивая взаимосвязь между двумя важнейшими показателями качества процесса триерной очистки зерносмеси от длинных примесей. При увеличении времени протекания процесса остаточная засоренность очищаемого зерна неуклонно растет за счет многократного увеличения интервальной засоренности. В то же время потери полноценного зерна в отходы неуклонно снижаются за счет более полного его выделения из остатков зерносмеси в цилиндре к концу процесса.

Для принятого уровня остаточной засоренности очищенного зерна 0,1 % расчетные потери полноценного зерна составят около 1 % при исходной засоренности $З_и$ = 1 %, 2,27 % – при $З_и$ = 2 %, 2,75% – при $З_и$ = 3% (рисунок 6).

Если за критерий оценки качества процесса принять ограничение потерь полноценного зерна на уровне 2 %, то в случае исходной засоренности $З_и$ = 1%, остаточная засоренность $З_о$ составит 0,05 %, при $З_и$ = 2 % - $З_о$ = 0,13 %, при $З_и$ = 3 % - $З_о$ = 0,17 %. Значение показателя возросло в 3,4 раза, но не превышает уровень требований к 1-му сорту.

Заключение. При управлении работой овсюжного триера за счет подбора рациональных режимов работы и настроечных параметров необходимо решать компромиссную задачу по повышению качества получаемого продукта во взаимосвязи с величиной потерь полноценного зерна в отходы. Анализ выявленного компромисса с учетом практики производства и реализации зерновых культур убеждает в необходимости предпочтения значимости показателя остаточной засоренности зерна в сравнении с технологическими потерями. Сортовые скидки, назначаемые по показателям качества зерна, составляют десятки процентов от реализационной цены, а технологические потери, которые являются возвратимыми, в исследуемых диапазонах исходной засоренности, режимов работы и настроечных параметров не превышают 2,75 %.

Список литературы

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

2. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Исследование параметров зернового сегмента в овсюжном триерном цилиндре // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 23-29.

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

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

5. Анашкин А.В. Взаимосвязь параметров зернового слоя в овсюжном цилиндре с подачей зерносмеси / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства XVIII Международная научно-практическая конференция. – 2015. – С. 96-99.

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

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

8. Васильева, О.П. Повышение эффективности разделения зерновой смеси путем оптимизации параметров и режимов работы триера с переменной угловой скоростью вращения цилиндра: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Киров, 2000. – 152 с.

9. Анашкин А.В. Результаты экспериментальных исследований динамики выделения коротких примесей ячеистой поверхностью / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства XVIII Международная научно-практическая конференция. – 2015. – С. 92-96.

10. Сепараторы триерные серии СТ. Руководство по эксплуатации Воронежсельмаш. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

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

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

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

14. Пат. 2647526 Российская Федерация, МПК B 07 B 13/02,A 01 F 12/44. Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

15. Пат. 2616201 Российская Федерация, МПК B 07 B 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2016108182; заявл. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.

References

1. Letoshnev, M.N. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny, teoriya, raschet, proyektirovaniye i ispytaniye – M.: L.: Sel'khozgiz, 1955. – 856 s.

2. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Issledovaniye parametrov zernovogo segmenta v ovsyuzhnom triyernom tsilindre // Nauka v tsentral'noy Rossii. – 2019. – № 2 (38). – S. 23-29.

3. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Vliyaniye vysoty zernovogo sloya v ovsyuzhnom triyere na ostatochnoye soderzhaniye dlinnykh primesey // Nauka v tsentral'noy Rossii. – 2019. – № 4 (40). – S. 19-26.

4. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizatsiya triyernogo bloka // Sel'skiy mekhanizator. – 2015. – № 11. – S. 14-15.

5. Anashkin A.V. Vzaimosvyaz' parametrov zernovogo sloya v ovsyuzhnom tsilindre s podachey zernosmesi / V sbornike: Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii - novyye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rasteniyevodstva i zhivotnovodstva XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. – 2015. – S. 96-99.

6. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Upravleniye raskhodnymi kharakteristikami triyera polozheniyem vyvodnogo lotka // Nauka v tsentral'noy Rossii. – 2018. – № 2 (32). – S. 28-34.

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

8. Vasil'yeva, O.P. Povysheniye effektivnosti razdeleniya zernovoy smesi putem optimizatsii parametrov i rezhimov raboty triyera s peremennoy uglovoy skorost'yu vrashcheniya tsilindra: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Kirov, 2000. – 152 s.

9. Anashkin A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy dinamiki vydeleniya korotkikh primesey yacheistoy poverkhnost'yu / V sbornike: Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii - novyye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rasteniyevodstva i zhivotnovodstva XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. – 2015. – S. 92-96.

10. Separatory triyernyye serii ST. Rukovodstvo po ekspluatatsii Voronezhsel'mash. [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

11. Pristavka triyernaya PT-600. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Voronezhsel'mash. [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/images/content/pt600.pdf

12. Blok triyernyy BTM-800-8B. Opisaniye. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Tekhnika-Servis. [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf

13. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Rastyushevskiy K.A. Obosnovaniye parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistykh poverkhnostey // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. – 2013. – № 2. – S. 18-21.

14. Pat. 2647526 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V 07 V 13/02,A 01 F 12/44. Pribor dlya vydeleniya primesey iz zernosmesey / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2017114302; zayavl. 24.04.2017; opubl. 16.03.2018, Byul. № 8.

15. Pat. 2616201 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V 07 V 13/02. Stend dlya ispytaniy yacheistykh poverkhnostey / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2016108182; zayavl. 09.03.2016; opubl. 13.04.2017, Byul. № 11.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Author credentials

Affiliations

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

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

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.06.2020

УДК 631:628.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-68-78

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА ПОРОСЯТ

[1]Тихомиров Дмитрий Анатольевич
[1]Трунов Станислав Семенович
[2]Машков Алексей Николаевич
[1]Ламонов Николай Григорьевич

[1]ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Провели анализ технологий и технических средств создания температурного режима в свинарнике-маточнике, где в холодное время года необходимо создавать два различных температурных поля: для подсосных маток – одно поле, для поросят-сосунов – другое. Рассмотрели вопрос применения термоэлектрических модулей в качестве источника энергии в установках локального обогрева поросят-сосунов. Предложили функционально-технологическую схему установки для локального обогрева молодняка с применением термоэлектрических модулей. В разработанной схеме энергия горячего контура термоэлектрических модулей используется для нагрева площадки, на которой располагаются поросята. Энергия холодного контура термоэлектрического модуля используется для ассимиляции теплоты из удаляемого вентиляционного воздуха. Установили, что для эффективной работы термоэлектрической установки локального обогрева поросят необходимо, чтобы контур охлаждения, который абсорбирует тепловую энергию из окружающей среды, был задействован в каком-либо технологическом процессе по отводу теплоты, например, удаляемого теплого вентиляционного воздуха. Это приводит к существенному повышению коэффициента полезного использования термоэлектрических модулей. При этом установка будет работать в режиме теплового насоса, поскольку энергия, выделяющаяся в теплообменнике горячего контура термоэлектрической сборки, превышает энергию потребляемой из сети. Разработали и апробировали методику расчета системы теплообмена термоэлектрической сборки с окружающей средой. Разработали макетный образец термоэлектрической установки и провели его лабораторные испытания. Показали энергетическую эффективность применения термоэлектрических модулей в качестве преобразователей энергии в тепловых технологических процессах.*

Ключевые слова*: свинарник-маточник, термоэлектричество, локальный обогрев, термоэлектрическая сборка, энергосбережение.*

RATIONAL USE OF ELECTRICITY FOR LOCAL HEATING OF PIGLETS

[1]Tikhomirov Dmitry
[1]Trunov Stanislav
[2]Mashkov Alexey
[1]Lamonov Nikolay

[1]FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract.*The article analyzes the technologies and technical means of creating a temperature regime in a pigsty, where in the cold season it is necessary to create two different temperature fields: one for sows, the other for suckling pigs.The issue of using thermoelectric modules as an energy source in piglets ' local heating installations is considered. The functional and technological scheme of the installation for local heating of young animals with the use of thermoelectric modules is proposed. The energy of the hot loop of thermoelectric modules is used to heat the area where the piglets are located. The energy of the cold loop of the thermoelectric module is used to assimilate heat from the removed ventilation air.It is*

established that for the effective operation of a thermoelectric installation for local heating of piglets, it is necessary that the cooling circuit, which absorbs heat energy from the environment, be involved in any technological process of heat removal, for example, for heat recovery of ventilation air. The efficiency of thermoelectric modules increases significantly in this mode. The thermal energy taken from the hot junction of the thermoelectric module to heat the local site exceeds the electricity consumed by the installation from the electrical network. The authors developed and tested a method for calculating the heat exchange system of a thermoelectric unit with the environment. We developed a model of a thermoelectric installation and conducted laboratory tests. The energy efficiency of using thermoelectric modules as energy converters in thermal technological processes is shown.

Keywords: *pigsty-mother liquor, thermoelectricity, local heating, thermoelectric assembly, energy saving.*

Введение. Рациональное и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов – одна из самых актуальных и важных проблем в настоящее время. Агропромышленный комплекс России является крупным потребителем электрической и тепловой энергии [1]. Перспективным решением данной проблемы является использование инновационных энергосберегающих технологий и технических средств, которые используют нетрадиционные источники энергии. Электротепловые технологии и процессы теплообеспечения объектов сельского хозяйства могут стать и становятся областью широкого применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Предпосылками их внедрения являются удаленность и рассредоточенность потребителей энергии на объектах АПК, значительный потенциал местных и возобновляемых энергоресурсов, отходов сельхозпроизводства с возможностью их использования в системе автономной энергетики, высокие цены (тарифы) на энергоресурсы и плата за подключение новых мощностей, значительные потери в электрических и тепловых сетях [2].

В системах теплообеспечения и создания микроклимата на животноводческих объектах высокой энергоэффективностью обладают процессы утилизация теплоты и использование тепловых насосов, реализация которых позволит экономить до 30% энергозатрат и одновременно решать экологические проблемы.

Термоэлектрические модули благодаря простоте конструкции, бесшумной работе, стойкости к вибрации, экологической безопасности получают всё большее распространение в мире и достаточно широко используются в различных отраслях науки и техники [3]. Этому способствует их постоянное совершенствование, направленное на повышение их эффективности и КПД, и снижение стоимости. Проведенный анализ использования термоэлектрических модулей Пельтье (термоэлектрических сборок) показывает, что фактически термоэлектрические сборки являются компактными тепловыми насосами, позволяющими создавать энергоэффективные установки, для использования в различных тепловых технологических процессах сельскохозяйственного производства [4]-[6].

Важной и актуальной задачей в животноводстве является создание комфортного теплового режима в свинарнике-маточнике. Температура в зоне нахождения поросят должна меняться от 30°С для поросят-сосунов с постепенным снижением до 22°С ко времени отъема поросят от свиноматок. Для свиноматок комфортная температура составляет 18-22 °С [7] .

В настоящее время раздельный температурно-влажностный режим для маток и молодняка обеспечивается созданием локальных зон обогрева при помощи обогреваемых полов, ИК-облучателей, брудеров, организации логова [8]. Оптимальные условия для выращивания поросят позволяет создавать комбинированный обогрев, когда теплота к животным подводится снизу и сверху, являясь сочетанием инфракрасных облучателей с обогреваемыми полами, панелями или ковриками [9]. Подогрев главным образом осуществляется электронагревателями сопротивления либо горячей водой. Одновременно с созданием локальных зон содержания поросят, применение упомянутого электротеплового оборудования позволяет снизить затраты электроэнергии на создание микроклимата по сравнению с установками общеобменной системы вентиляции и отопления свиноводческого помещения. Тем не менее, в масштабе всего свинарника-маточника процесс обеспечения заданного микроклимата является достаточно энергозатратным.

Для опороса маток и их содержания с новорожденными поросятами разработаны различные конструкции станков в хозяйствах промышленного типа, предусматривающие обогреваемую площадку от 0,5 до 1,5 м^2 для поросят (обогреваемый пол, панели или коврики). С появлением на рынке относительно недорогих и эффективных термоэлектрических модулей и сборок на их основе представляется актуальным рассмотреть вопрос разработки установок для локального

обогрева поросят, что позволит наряду с созданием комфортных условий их содержания ещё и существенно снизить расход энергии на отопление локальных зон свинарника. Целью исследования является разработка функционально-технологической схемы, методики расчета и изготовление макетного образца обогреваемой с помощью термоэлектричества панели для поросят при их содержании в станке.

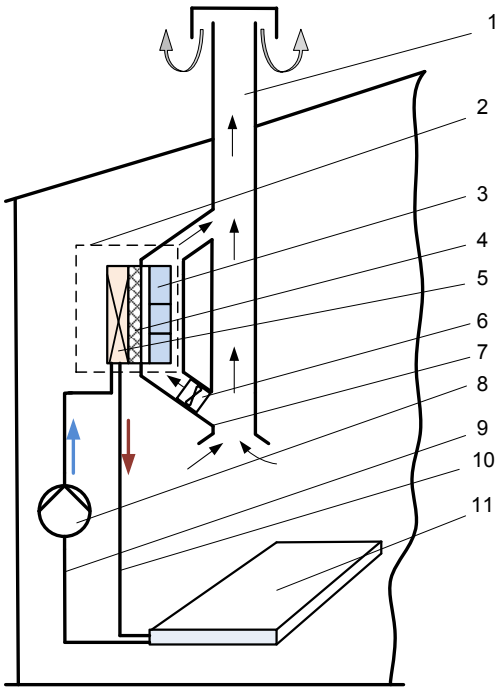
Материалы и методы. Для эффективной работы термоэлектрического модуля, в виду того, что площадь его поверхности не позволяет отвести весь поток тепловой энергии, вырабатываемой термоэлементом, следует применять дополнительные теплообменные поверхности.

В зависимости от уровня отводимой мощности Q с горячей и холодной стороны модуля, сделать это возможно с помощью: монтажа модуля на металлическую пластину (Q < 15 Вт); на воздушный радиатор (15 < Q < 35 Вт); применить водяное охлаждение (Q > 35 Вт) [10].

Термоэлектрическая сборка может быть рассмотрена в качестве теплового насоса, который забирает тепло из окружающей среды на холодной стороне модуля и передает ее горячей стороне [11]. Применение термоэлектрических сборок позволяет осуществлять одновременно в разных технологических процессах нагрев и охлаждение объектов, температура которых не адекватна температуре окружающей среды.

В зависимости от назначения, условий теплообмена между внешней средой и рассматриваемым объектом термоэлектрические сборки выполняют с различными теплообменниками. Наиболее распространенными являются теплообменники с жидкостным и воздушным типом передачи теплоты.

Из проведенного нами анализа различных схем термоэлектрических сборок [12], [13] установлено, что для создания установки локального обогрева поросят с применением термоэлектрического теплового насоса следует принять по энергетическим и конструктивным параметрам схему теплообмена «жидкость – воздух», технологическая схема которой показана на рисунке 1.



1 – вытяжная вентиляция; 2 – термоэлектрическая сборка; 3 – радиатор холодного контура; 4 – термоэлектрический модуль; 5 – радиатор горячего контура; 6 – вентилятор вытяжной; 7 – байпасная линия; 8 – насос циркуляционный; 9,10 – трубопровод; 11 – панель обогреваемая

Рисунок 1 – Схема установки локального напольного обогрева поросят с применением термоэлектричества

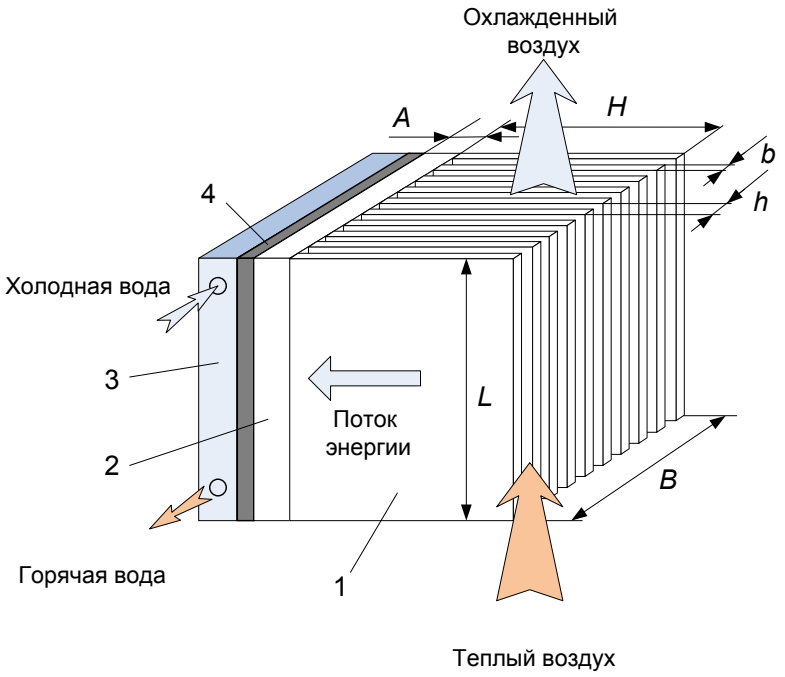
Установка разработана по схеме «жидкость-воздух» и содержит термоэлектрическую сборку 2, которая в свою очередь состоит из термоэлектрических модулей Пельтье 4, воздушных радиаторов холодного контура 3, установленных в байпасе 7 с вытяжным вентилятором 6, канала вытяжной вентиляции помещения 1, радиатора водяного охлаждения горячего спая 5, соединенного прямым 9 и обратным 10 трубопроводами через циркуляционный насос 8 с обогреваемой панелью 11.

Свиноматка располагается в зоне станка, поросята в основном находятся в отгороженной от свиноматки зоне, в которой располагают обогреваемую панель 11, на которой поросята отдыхают. Через проход в разделительной решетке поросята-сосуны для кормления свободно проходят к свиноматке.

Во многих конструкциях термоэлектрических охлаждающих приборах и установках в качестве теплоотводящей системы используется воздушный радиатор [14]. При этом применяется либо естественно-конвекционный теплообмен с равностоящей системой плоских ребер, либо принудительный теплосъём с их поверхности.

При расчете воздушного радиатора, установленного на холодной стороне термоэлектрического модуля и используемого для ассимиляции тепла из нагретого вентиляционного воздуха помещения, принимаем нижеследующие исходные данные: Q – холодопроизводительность элемента, Вт; $t_в$– температура воздуха в помещении (среды), °С; $t_р$ – средняя температура радиатора, °С; b – толщина ребра, м; h – расстояние между ребрами, м; $\lambda_м$ – коэффициент теплопроводности материала радиатора, Вт/(м°С); L – размер воздушного радиатора вдоль ребер, м; B – размер воздушного радиатора поперек ребер, м; A – толщина основания радиатора, м.

На один термоэлектрический модуль по центру устанавливается соответствующий воздушный радиатор, при этом размеры радиатора вдоль ребер L (длина) и поперёк ребер B (ширина) (рис.2) следует выбирать такими, чтобы они были не меньше размеров термоэлектрического модуля, принятого в качестве генератора холода.



1- ребра воздушного радиатора; 2- основание воздушного радиатора;
3- водяной радиатор горячего контура; 4 - элемент термоэлектрический

Рисунок 2 – Схема термоэлектрической сборки «воздух-вода»

Рассмотрим оба варианта теплосъёма с поверхности оребрения (принудительный и естественным побуждением).

При расчете радиатора с принудительным теплосъёмом количество теплоты, которое поглощается радиатором из окружающего воздуха можно определить с помощью уравнения

$$Q = c_{в} \cdot G_{в} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, подводимое к радиатору, Вт (задано в исходных данных;

$G_{в}$ – массовый расход воздуха через радиатор, кг/с;

$c_{в}$– удельная теплоемкость воздуха при температуре радиатора, Дж/кг ^{0}С;

Δt– задаваемая разность температур воздуха на входе и выходе радиатора, ^{0}С.

Значение скорости воздуха V между ребрами воздушного радиатора принимаем в диапазоне от 2 до 6 м/с, исходя из анализа аналогичных устройств [15-17].

Коэффициент теплообмена $\alpha_{р}$ ребер радиатора конвекцией при установленной скорости движения воздушного потока определяют по критериям подобия Рейнольдса и Нуссельта.

Коэффициент Рейнольдса равен

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot L}{\upsilon}, \quad (2)$$

где V – скорость воздушного потока вдоль ребра радиатора, м/с;

L – длина ребер радиатора, м;

υ – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м^{2}/с.

Коэффициент Нуссельта:

$$Nu = 0{,}032\,\mathrm{Re}^{0,8} \quad (3)$$

Коэффициент конвективного теплообмена ребра радиатора при вынужденном движении воздушного потока определяют по известному выражению [16]:

$$\alpha_{р} = \frac{Nu \cdot \lambda_{в}}{L}, \quad (4)$$

где $\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт / (м°С).

Габаритные размеры воздушного радиатора определяют по установленной зависимости [15], определяющей рациональное соотношение между высотой H и толщиной b ребра радиатора

$$H = 1{,}419\frac{b}{2}\sqrt{\frac{2\lambda}{\alpha_{р} b}}, \quad (5)$$

где b – толщина ребра, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлен радиатор, например, для меди λ =395 Вт/(м °С).

Таким образом, на основании ранее принятого размера воздушного радиатора вдоль ребер L и полученной по уравнению (4) высотой ребра H площадь теплоотдающей поверхности одного ребра ассимилирующей тепловую энергию из вентиляционного воздуха составит:

$$F_{р1} = 2(H \cdot L) \quad (6)$$

Теплота вентиляционного воздуха передается через всю поверхность F теплообменника и может быть выражена через уравнение теплового потока как

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (7)$$

где Q – тепловой поток, поглощаемый холодной стороной термоэлектрического модуля из вентиляционного воздуха, Вт;

F – площадь всех поверхностей теплообмена радиатора (ребер и основания ребер), м^{2};

Δt – задаваемая разность температур воздуха на входе и выходе из радиатора, ^{0}С;

K – коэффициент теплопередачи от поверхности термоэлектрического модуля к охлаждаемому воздуху, Вт/(м^{2} ^{0}С).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_р} + \frac{A}{\lambda_м}}, \quad (8)$$

где A – толщина основания радиатора, м;

$\lambda_м$ – коэффициент теплопроводности металла основания, Вт/(м °С).

Площадь всей радиаторной системы F, состоящей из площади основания радиаторной системы F_0 и самих ребер радиатора $F_р$ для конвективного отбора тепла вентиляционного воздуха с принудительным побуждением воздуха может быть с достаточной степенью точности определена из выражения (7).

Площадь основания ребер радиатора $F_о$ можно найти из выражения

$$F_о = L \cdot B. \quad (9)$$

Площадь боковых поверхностей основания ребер радиатора не учитываем в виду незначительной её величины.

Тогда площадь теплоотдающей поверхности всех ребер радиатора составит

$$F_р = F - F_о. \quad (10)$$

Количество ребер радиатора N определим из выражения

$$N = \frac{F_р}{F_{р1}}. \quad (11)$$

Для изменения полученных расчетным путем размеров радиатора следует скорректировать задаваемые его параметры длину L и ширинуB.

Расход воздуха через радиатор и соответственно воздухопроизводительность вентилятора, которым должен быть укомплектован термоэлектрческий модуль, определим из выражения

$$G_в = \frac{Q}{C_в \cdot \Delta t}, \quad (12)$$

В соответствии с принятой скоростью и полученным по выражению (12) расходом воздуха определим площадь (сечение) воздушного канала, в котором должен быть установлен воздушный радиатор термоэлектрического модуля.

$$F_k = \frac{G_в}{V}. \quad (13)$$

Расчет радиатора с естественно-конвекционным теплосъёмом производится по аналогичному алгоритму. Площадь радиаторной системы с естественно-конвекционным съёмом тепла определяем с помощью выражения (7) при этом Δt – допустимый перепад температур между радиатором и окружающим воздухом, ^{0}С.

Установлено, что величина коэффициента теплообмена при естественно-конвекционном теплообмене зависит от ряда факторов и в первую очередь от пространственного расположения радиаторных пластин. При установке вертикально вверх радиатор работает с наибольшим коэффициентом теплоотдачи [18]. Однако по конструктивным соображениям в соответствии с принятой схемой (рисунок 1) выражение для расчета коэффициента теплоотдачи $\alpha_р$ определяем для системы ребер, расположенных горизонтально.

Для вычисления среднего по длине ребра численного значения коэффициента конвективного теплообмена $\alpha_р$ ребра теплообменника с воздухом воспользуемся выражением из источника [17].

$$\alpha_р = 1{,}19 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{B}}, \quad (14)$$

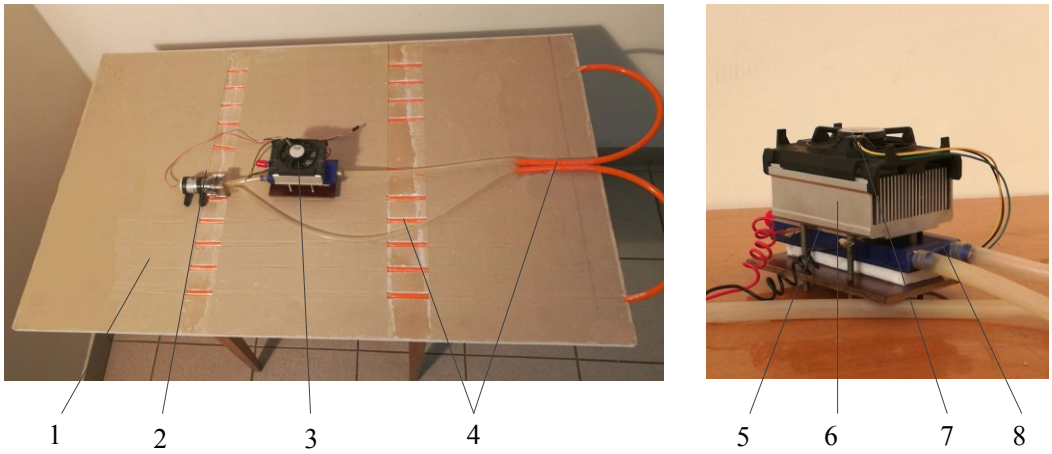
где B – наименьшая сторона горизонтальной поверхности радиаторных пластин, м.

Результаты и обсуждение. Пример расчета радиатора термоэлектрического элемента при принудительном охлаждении представлен в таблице 1.

На основании выполненных расчетов был изготовлен макетный образец установки локального обогрева поросят (рисунок 3) с помощью обогреваемой напольной панели с применением термоэлектрических модулей в качестве нагревателей теплоносителя (воды), циркулирующей по замкнутому контуру.

Таблица 1 – Расчет радиатора термоэлектрического элемента при принудительном охлаждении

Параметр	Обозначение, расчетная формула	Значение	Ед. изм	Примечание
Холодопроизводительность термоэлектрического элемента	Q	50	Вт	паспортные данные
Температура воздуха в помещении	$t_в$	20	°С	исходные данные
Средняя температура радиатора	$t_р$	5	°С	исходные данные
Толщина ребра радиатора	b	$0{,}5\cdot10^{-3}$	м	исходные данные
Коэффициент теплопроводности медного радиатора	λ	380	Вт/м°С	исходные данные
Размер воздушного радиатора вдоль ребер	L	$4\cdot10^{-2}$	м	исходные данные
Размер воздушного радиатора поперек ребер	B	$4\cdot10^{-2}$	м	исходные данные
Толщина основания радиатора	A	$8\cdot10^{-3}$	м	исходные данные
Скорость воздуха в каналах между ребрами	V	2	м/с	задаваемая величина
Коэффициент кинематической вязкости воздуха	υ	$15{,}8\cdot10^{-6}$	$м^2/с$	исходные данные
Число Рейнольдса	$\mathrm{Re}=\frac{V\cdot L}{\upsilon},$	$0{,}5\cdot10^{4}$		расчетная величина
Число Нуссельта	$Nu=0{,}032\,\mathrm{Re}^{0{,}8}$	29		расчетная величина
Коэффициент конвективного теплообмена ребер радиатора	$\alpha_р=\frac{Nu\cdot\lambda_в}{L},$	19,8	$Вт/м^2\,^0С$	расчетная величина
Высота ребра радиатора	$H=1{,}419\frac{b}{2}\sqrt{\frac{2\lambda}{\alpha_р b}}$	97	мм	расчетная величина
Площадь теплоотдающей поверхности ребра	$F_{р1}=2(H\cdot L),$	0,0078	$м^2$	расчетная величина
Коэффициент теплопередачи от поверхности термоэлектрического модуля к охлаждаемому воздуху	$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_р}+\frac{A}{\lambda_м}}$	27,02	$Вт/м^2\,^0С$	расчетная величина
Разность температур воздуха на входе и выходе радиатора	Δt	15	°С	задаваемая величина
Площадь радиаторной системы	$F=\frac{Q}{K\Delta t}.$	0,12	$м^2$	расчетная величина
Площадь теплоотдающей поверхности всех ребер радиатора	$F_р=F-F_о,$	0,118	$м^2$	расчетная величина
Количество ребер на основании радиатора	$N=\frac{F_р}{F_{р1}}$	15	шт	расчетная величина
Удельная теплоемкость воздуха при температуре радиатора	$С_в$	1005	Дж/кг °С	исходные данные
Расход воздуха через радиатор	$G_в=\frac{3600\cdot Q}{C_в\cdot\Delta t},$	11,9	кг/ч	расчетная величина
Площадь (сечение) воздушного канала	$F_к=\frac{\rho_в G_в}{V}$	0,0019	$м^2$	расчетная величина



1 – обогреваемая панель; 2 – насос циркуляционный; 3 – термоэлектрическая сборка; 4 – трубка водяная; 5 – термоэлектрический элемент; 6 – радиатор холодной стороны; 7 – вентилятор; 8 – радиатор горячей стороны

Рисунок 3 – Макетный образец обогреваемой панели и термоэлектрической сборки

Основные параметры системы обогрева поросят приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры локальной системы обогрева

Параметр	Ед. измерен.	Значение
Тип термоэлектрического модуля	TEC1-12706	
Напряжение питающей сети	В	220
Напряжение питания термоэлектрического модуля	В	12
Электрическая мощность, потребляемая из сети	Вт	60
Тепловая мощность, отводимая горячим контуром	Вт	82
Температура на рабочей поверхности обогреваемой панели при температуре окружающей среды 15 °С	°С	31
Объем циркулирующей жидкости	л	0,8
Размер обогреваемой панели	м	0,7х1,2

В термоэлектрическом модуле при прохождении электрического тока через элемент помимо теплоты $Q_{дж}$, выделяющейся в соответствии с законом Джоуля-Ленца, в спае выделяется или поглощается в зависимости от направления тока теплота Пельтье.

Количество теплоты, поглощающейся на холодном спае термоэлемента, имеет значение

$$Q_{ох}^{п} = \alpha_{12} I T_{ох}, \quad (16)$$

выделяющаяся теплота на горячем спае

$$Q_{г}^{п} = \alpha_{12} I T_{г}, \quad (17)$$

где α_{12} – коэффициент термо-эдс термоэлемента (коэффициент Пельтье), В/°С;

I – сила тока в цепи термоэлемента, А;

$T_{ох}$, $T_{г}$ – температура соответственно холодного и горячего спаев, °С.

За счет теплопроводности материала термоэлектрического модуля передается также тепло $Q_{Т}$ от горячего спая к холодному.

Уравнения теплового баланса для горячего и холодного спаев имеют вид:

$$Q_{г}^{п} + 0,5 Q_{дж} = Q_{Г} + Q_{Т}$$

$$Q_{ОХ} + 0,5 Q_{дж} + Q_{Т} = Q_{ох}^{п}. \quad (18)$$

Если допустить полную теплоизоляцию ветвей термоэлемента, то его теплообмен с окружающей средой происходит на спаях. Разность между теплотой $Q_{Г}$, передаваемая горячим

спаем нагреваемому объекту и теплотой $Q_{ОХ}$, забираемой из окружающей среды, представляет собой работу электрических сил W (потребляемая мощность термоэлементом из электрической сети).

При этом количество теплоты, которое необходимо отвести от горячего спая термоэлемента (в любом режиме работы), составляет

$$Q_{Г} \approx Q_{ОХ} + W \cdot \quad (19)$$

Таким образом, из уравнения (19) видно, что при создании идеальных условий количество тепловой энергии, выделяющейся на горячем спае термоэлектрического модуля практически равно сумме энергий, поглощаемой на холодном спае термоэлектрического модуля и потребляемой из электрической сети.

На рисунке 4 показаны экспериментальные зависимости мощности потребляемой из сети W и мощности, отводимой горячим контуром термоэлектрического модуля $Q_{г}$ от напряжения питающей сети.

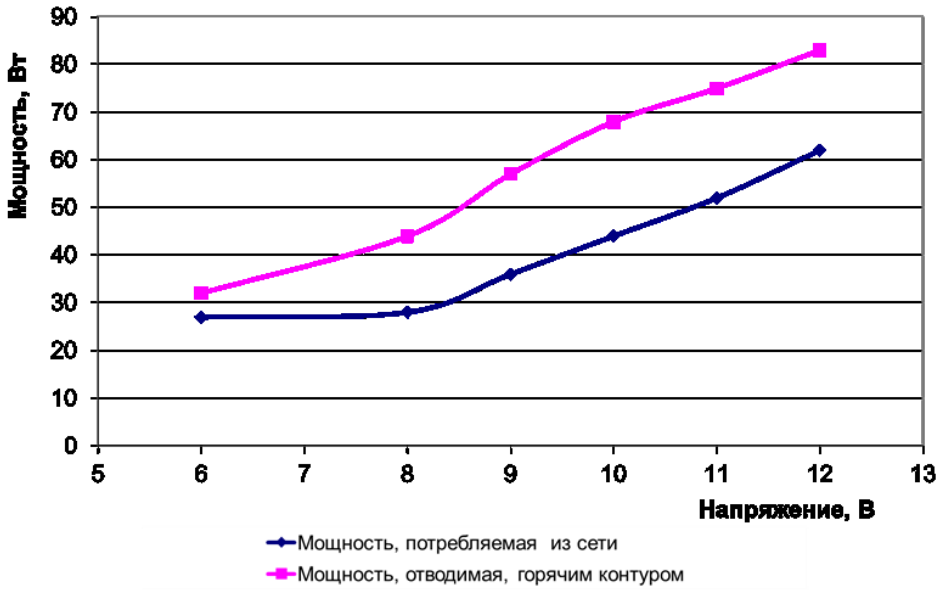


Рисунок 4 – Энергетическая характеристика термоэлектрического модуля

Выводы. Анализируя усредненные экспериментальные зависимости можно заключить, что мощность, отводимая горячим контуром термоэлектрического модуля, на 25 % превышает мощность, потребляемую из сети. Это происходит за счет присоединения к горячему контуру поглощенной энергии $Q_{ох}$ из нагретого удаляемого из помещения воздуха холодным контуром термоэлектрического модуля. Используя сбросовое тепло удаляемого вентиляционного воздуха для подвода к холодному спаю, удается снизить мощность, потребляемую из электрической сети для подогрева самой панели.

Анализ экспериментальных значений и теоретические исследования позволяют утверждать о возможности использования термоэлектрических модулей Пельтье в установках локального обогрева молодняка животных в качестве энергосберегающего источника тепловой энергии.

Применение установок локального обогрева на основе элементов Пельтье, используемых в качестве тепловых насосов способны значительно сократить расход энергии (до 25%) на обогрев молодняка по сравнению с существующими установками прямого нагрева.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение условий оптимального режима работы термоэлектрической системы для получения максимального прироста мощности, отводимой горячим контуром, по сравнению с мощностью, потребляемой из сети, и обоснование теплоэнергетических и конструкционных параметров локальной установки обогрева поросят.

Список литературы

1. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах и их структура на период до 2030 г // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 28. – С. 101-109.

2. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Распределенные системы энергоснабжения АПК // Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве. – 2019. – №3(36). – С.3-11.

3. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – 2001. Утв. и введено в действие указанием Москомархитектуры от 31.01.2001 г. № 8.

4. Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Ершова И.Г., Косолапова Е. В. Воздушно-тепловая завеса с использованием термоэлектрических модулей в доильном блоке фермы КРС // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 1. – С. 47-57

5. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическое осушение воздуха в сельскохозяйственных помещениях // Наука в центральной России. – 2018. – №2 (32). – С. 51-59.

6. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н., Филонов Р.Ф. Применение термоэлектрических модулей в пастеризационно-охладительных установках для обработки жидких пищевых продуктов: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. – 88с.

7. РД-АПК 1.10.02.01-13. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов. - М.: Минсельхоз РФ. – 2012. – 138 с.

8. Растимешин С.А., Борисов В.В. Определение параметров контактного теплообмена поросенка для расчета энергосберегающих электрообогревателей / Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2006. – Т.3. – С. 179-185.

9. Трунов С.С., Растимешин С.А. Требования к тепловому режиму животноводческих помещений с молодняком и предпосылки применения локального обогрева // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2 (27). – С. 76-82.

10. Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской и бытовой техники // Компоненты и технологии. – 2010. – № 1. – С. 102-109.

11. Шостаковский П.Г. Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок // Компоненты и технологии. – 2011. – № 9. – С 142-150.

12. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическая установка обработки воздуха помещений сельскохозяйственного назначения // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. -2019. -№1(34). -С. 8-14.

13. Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г. Методика расчета термоэлектрической установки для осушения воздуха // Инновации в сельском хозяйстве. – №3(32). – 2019. – С. 261-271.

14. Venkatesan K., Venkataramanan M. Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics. – 2020. – Vol. 41.

15. Покорный Е.Г., Щербина А.Г. Расчет полупроводниковых охлаждающих устройств. Л.: Наука, 1969. 206 с.

16. Хоблер Т. Теплопередача и теплообменники. Л.: Госхимиздат, 1961. 820с.

17. Коленко Е.А. Термоэлектрические охлаждающие устройства. М.-Л.: Наука, 1967. 282 с.

18. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1982. 415 с.

References

1. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Ocenka potrebnostej sel'skogo hozyajstva RF v energoresursah i ih struktura na period do 2030 g. // Innovacii v sel'skom hozyajstve. - 2018. - № 28. -C. 101-109.

2. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Raspredelennye sistemy energosnabzheniya APK // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v sel'skom hozyajstve. -2019. -№3(36). -S.3-11.

3. Rukovodstvo po primeneniyu teplovyh nasosov s ispol'zovaniem vtorichnyh energeticheskih resursov netradicionnyh vozobnovlyaemyh istochnikov energii. 2001. Utv. i vvedeno v dejstvie ukazaniem Moskomarhitektury ot 31.01.2001 g. № 8.

4. Tihomirov D.A., Trunov S.S., Ershova I.G., Kosolapova E. V. Vozdushno-teplovaya zavesa s ispol'zovaniem termoelektricheskih modulej v doil'nom bloke fermy KRS // Vestnik NGIEI. 2020. № 1. S.47-57

5. Trunov S.S., Tihomirov D.A. Termoelektricheskoe osushenie vozduha v sel'skohozyajstvennyh pomeshcheniyah // Nauka v central'noj Rossii. - 2018. -№2 (32). - S. 51-59.

6. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N., Filonov R.F. Primenenie termoelektricheskih modulej v pasterizacionno-ohladitel'nyh ustanovkah dlya obrabotki zhidkih pishchevyh produktov: monografiya. - M.: FGOU VPO MGAU,2011. -88s.

7. RD-APK 1.10.02.01-13. Metodicheskie rekomendacii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu svinovodcheskih ferm i kompleksov. – M.: Minsel'hoz RF. –2012. – 138 s.

8. Rastimeshin S.A., Borisov V.V. Opredelenie parametrov kontaktnogo teploobmena porosenka dlya rascheta energosberegayushchih elektroobogrevatelej / Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyajstve. 2006. T. 3. S. 179-185.

9. Trunov S.S., Rastimeshin S.A. Trebovaniya k teplovomu rezhimu zhivotnovodcheskih pomeshchenij s molodnyakom i predposylki primeneniya lokal'nogo obogreva // Vestnik VIESKH. 2017. № 2 (27). S. 76-82.

10. SHostakovskij P.G. Sovremennye resheniya termoelektricheskogo ohlazhdeniya dlya radioelektronnoj, medicinskoj i bytovoj tekhniki.// Komponenty i tekhnologii № 1, 2010 g.

11. SHestakovskij P.G. Teplovoj kontrol' ob"ektov na baze termoelektricheskih sborok // Komponenty i tekhnologii № 9 2011g.

12. Trunov S.S., Tihomirov D.A. Termoelektricheskaya ustanovka obrabotki vozduha pomeshchenij sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. -2019. -№1(34). -S. 8-14.

13. Trunov S.S., Tihomirov D.A., Lamonov N.G. Metodika rascheta termoelektricheskoj ustanovki dlya osusheniya vozduha // Innovacii v sel'skom hozyajstve. -№3(32).-2019. -S.261-271.

14. Venkatesan K., Venkataramanan M. Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics.-2020.-Vol. 41.- Issue: 4.- Article Number: 38. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2.

15. Pokornyj E.G., SHCHerbina A.G. Raschet poluprovodnikovyh ohlazhdayushchih ustrojstv. Izd-vo «Nauka «, Leningradskoe otd., L.,1969.206 s.

16. Hobler T. Teploperedacha i teploobmenniki. Goskhimizdat , L,, 1961 820s.

17. Kolenko E.A. Termoelektricheskie ohlazhdayushchie ustrojstva. Izd. «Nauka», M.-L. 1967.

18. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha): Uchebnik dlya vuzov.- 2-e izd., pererab. i dop.- M.: Vyssh. shkola, 1982.- 415 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тихомиров Дмитрий Анатольевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: tihda@mail.ru.

Трунов Станислав Семенович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: alla-rika@yandex.ru.

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

Ламонов Николай Григорьевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: viesh@viesh.ru.

Author credentials

Affiliations

Tikhomirov Dmitry – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: tihda@mail.ru.

Trunov Stanislav – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: alla-rika@yandex.ru.

Mashkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Lamonov Nikolay – engineer of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: viesh@viesh.ru.

Поступила в редакцию (Received): 24.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 12.05.2020

УДК 637.15
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-79-85

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК

[1]Доровских Владимир Иванович
[1]Милушев Ринат Келимулович
[1]Шулаев Геннадий Михайлович
[1]Жариков Вадим Сергеевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Рецептура отечественных кормовых добавок осуществляется в основном на базе ранее разработанных и испытанных прототипов, при этом совершенствование рецептуры обогатительных добавок и комбикормов поиск лучших вариантов, расчёт качественных характеристик проводится на базе существующих компьютерных программ, например «Корм-Оптима». Основной недостаток такого подхода отсутствие оптимизации состава кормовых добавок по качеству и количеству входящих компонентов, что снижает эффективность их применения. В представленной работе предложен метод оценки их качества с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона. В качестве примера был взят ранее испытанный бобово-глютеновый концентрат (БГК), который содержит дорогой и сравнительно дефицитный кукурузный глютен и усовершенствованный состав бобово-обогащённого концентрата (БОК) на основе сои и люпина, прошедших соответствующую обработку. Проведенные расчеты показали, что значения обобщенной функции желательности Харрингтона для добавок БОК и БГК находятся в диапазоне «хорошо». В итоге можно утверждать, что обогатительную добавку для комбикормов можно изготовлять без дефицитного, дорогостоящего кукурузного глютена, используя наиболее доступное сырьё бобовых культур (соя, люпин). Это обеспечивает сбалансированное кормление и высокую продуктивность молодняка свиней при меньших затратах денежных средств. Представленная методика позволяет: определять интегральный показатель качества кормовых добавок; оценивать результаты его применения; планировать и проводить более масштабные исследования, направленные на оптимизацию состава кормов и кормовых добавок.*

Ключевые слова: *животноводство, кормовые добавки, состав, качество, функция желательности.*

USING A GENERIC FUNCTION THE HARRINGTON'S DESIRABILITY IN THE EVALUATION OF QUALITY OF FEED ADDITIVES

[1]Dorovskikh Vladimir
[1]Milushev Rinat
[1]Shulaev Gennady
[1]Zharikov Vadim
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The formulation of domestic feed additives is carried out mainly on the basis of previously developed and tested prototypes, while improving the formulation of enrichment additives and compound feeds, the search for the best options, the calculation of qualitative characteristics is carried out on the basis of existing computer programs, such as "Optima-feed". The main disadvantage of this approach is the lack of optimization of the composition of feed additives in terms of quality and quantity of incoming components, which reduces the effectiveness of their use. A method for assessing their quality using the generalized Harrington desirability function is proposed in the presented paper. The previously tested bean-gluten concentrate (BGK), which contains expensive and relatively scarce corn gluten and an improved composition of bean-enriched concentrate (BOK) based on soy and lupine, which have undergone appropriate processing, was taken as an example. The calculations showed that the values of*

the generalized Harrington desirability function for BOK and BGK additives are in the "good" range. As a result, it can be argued that an enrichment additive for compound feeds can be made without scarce, expensive corn gluten using the most available raw legume crops (soy, lupine). This provides balanced feeding and high productivity of young pigs at a lower cost of money. The presented technique allows you to: determine the integral indicator of the quality of feed additives; evaluate the results of its use; plan and conduct larger studies aimed at optimizing the composition of feed and feed additives.

Keywords: *animal husbandry, feed additives, composition, quality, desirability function.*

Введение. При переводе животноводства на промышленную основу в нашей стране с каждым годом возрастает потребность в высококачественных комбикормах, которые во многом определяют экономику производства продукции. Однако при их изготовлении преимущественно используются дорогие импортные обогатительные добавки и рыбная мука, что значительно увеличивает затраты на производство и применение. Поэтому сейчас большое научное и практическое значение представляет разработка технологии получения заменителей рыбной муки из более дешевого сырья.

В качестве сырьевых ресурсов используются мясная мука, дрожжи микробиологического синтеза, соя, люпин, семена льна, кукурузный глютен и другие компоненты. Разработка отечественных кормовых добавок осуществляется в основном на базе ранее разработанных и испытанных прототипов. При этом совершенствование рецептуры обогатительных добавок и комбикормов поиск лучших вариантов, расчёт качественных характеристик проводится на базе существующих компьютерных программ, например «Корм-Оптима».

Основным недостатком такого подхода является то, что не осуществляется оптимизация состава кормовых добавок по качеству и количеству входящих компонентов, что снижает эффективность их применения. В связи с этим предложен способ комплексной оценки качества кормовых добавок с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона.

Материалы и методы. В качестве примера был взят ранее испытанный бобово-глютеновый концентрат (БГК), который содержит дорогой и сравнительно дефицитный кукурузный глютен и усовершенствованный состав бобово-обогащённого концентрата (БОК) на основе сои и люпина, прошедших соответствующую обработку [1-5].

Для проведения исследований по принципу аналогов было отобрано две группы молодняка свиней крупной белой породы по 10 голов в каждой.

По общепринятым методикам проводили зоотехнический анализ кормов.

Контрольная группа животных получала полнорационный комбикорм с ранее проверенной добавкой (БГК), а опытная – комбикорм такого же состава, но с БОК (усовершенствованный рецепт). В комбикормах эти добавки составляли 5 % по массе.

По результатам взвешивания молодняка рассчитан прирост живой массы в каждой группе и затраты кормов на продукцию (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность молодняка свиней при использовании в комбикормах разных обогатительных добавок из бобовых культур

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Количество поросят, гол.	10	10
Живая масса опытных поросят, кг:		
при постановке	25,2±0,8	25,2±0,5
при снятии	75,0±2,7	75,5±2,0
Прирост живой массы, кг	49,80	50,30
Среднесуточный прирост, г	553±35	559±33
В % к контрольной группе	100,00	101,80
Затраты комбикорма на 1 кг прироста, кг	3,40	3,37
В % к контрольной группе	100,00	99,10

Исследования показали, что использование в составе комбикормов обогатительных добавок из бобовых (соя, люпин), а также в сочетании бобовых с кукурузным глютеном обеспечивает высокую продуктивность при выращивании молодняка свиней.

Комплексная оценка результатов эксперимента осуществлена на основе обобщенной функции желательности Харрингтона [6-8].

В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности. Назначение шкалы желательности – установление соответствия между физическими и психологическими параметрами. Здесь под физическими параметрами понимаются возможные отклики, характеризующие функционирование исследуемого объекта, а под психологическими параметрами понимаются чисто субъективные оценки экспериментатора желательности (предпочтительности) того иного значения отклика. Чтобы получить шкалу желательности, удобно пользоваться готовой разработанной таблицей, представленной ниже.

Таблица 2 – Связь между количественными значениями безразмерной шкалы и психологическим восприятием человека

Желательность	Отметки на шкале желательности
Очень хорошо	1,00 – 0,80
Хорошо	0,80 – 0,63
Удовлетворительно	0,63 – 0,37
Плохо	0,37 – 0,20
Очень плохо	0,20 – 0,00

Значение частного отклика, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается через di (i=1, 2, …, n) и называется частной желательностью. Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение di = 0 соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение di = 1 – самому лучшему значению свойства [3, 4].

В таблице 2 представлены числа, соответствующие некоторым точкам кривой, которая задается уравнением:

$$d = \exp[-\exp(-y)].$$

На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0 до 1. По оси абсцисс указаны значения отклика, записанные в условном масштабе (рисунок 1).

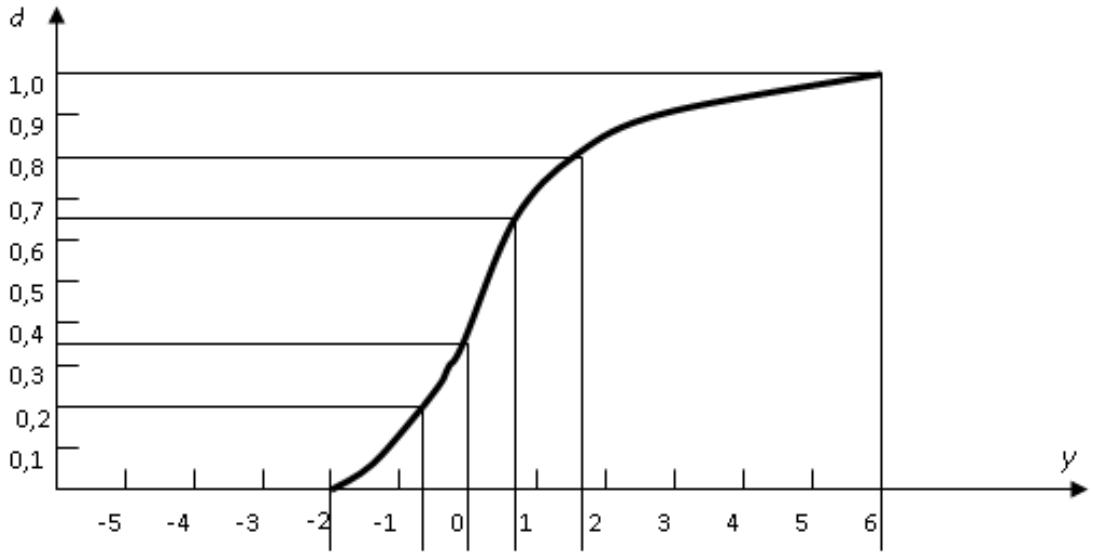


Рисунок 1 – Шкала и функция желательности Харрингтона

Конкретные параметры сравниваемых кормовых добавок распределяются в масштабе, соответствующем предъявляемым к ним требованиям, на промежутке эффективных значений шкалы частных показателей. Затем соответствующие им показатели пересчитываются в отметки на шкале желательности. Полученное значение $d(i)$ для i-го параметра пересчитываются вместе с другими в обобщенный коэффициент желательности – D. Он вычисляется по формуле:

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

где n – число используемых показателей параметров сравнения для данной системы.

Результаты и их обсуждение. Сравним кормовые добавки при помощи обобщенной функции желательности Харрингтона.

Таблица 3 – Значения показателей качества сравниваемых добавок

Наименование показателей	Коэффициент весомости, m_i	БОК	БГК
Протеин, %	0,5	37	41
Жир, %	0,2	13,7	13,5
Клетчатка, %	0,3	4,7	4,5

Коэффициент весомости m_i определяется экспертным путем.

Таблица 4 – Критерии оценок показателей

Градации качества	Протеин, %	Жир, %	Клетчатка, %
Отлично	41	14	4,0
Хорошо	35	12	4,5
Удовлетворительно	32	10	5,0
Плохо	30	8	5,5
Очень плохо	25	5	6,0

Для показателя протеин, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 41 и 32, подставляем значения в формулы и определяем коэффициенты:

$$\begin{cases} a_0 + 41a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{0,8}} \\ a_0 + 32a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{0,37}} \end{cases},$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 41a_1 = 1,51 \\ a_0 + 32a_1 = 0,01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = -5,18$; $a_1 = 0,17$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости по формуле:

$$y = -5,18 + 0,17x$$

Для показателя жир, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 14 и 10, подставляем значения в формулу:

$$\begin{cases} a_0 + 14a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{d_1}} \\ a_0 + 10a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{d_2}} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 14a_1 = 1,51 \\ a_0 + 10a_1 = 0,01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = -3,74$; $a_1 = 0,375$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости по формуле:

$$y = -3{,}74 + 0{,}375x.$$

Для показателя клетчатка, по оценкам «отлично» и «удовлетворительно» соответствуют значения 4 и 5, подставляем значения в формулу (1):

$$\begin{cases} a_0 + 4a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{d_1}} \\ a_0 + 5a_1 = ln\dfrac{1}{ln\frac{1}{d_2}} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} a_0 + 4a_1 = 1{,}51 \\ a_0 + 5a_1 = 0{,}01 \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим: $a_0 = 7{,}51$; $a_1 = 1{,}5$.

Переводим значения размерных (натуральных) показателей в безразмерные при линейной зависимости:

$$y = 7{,}51 + 1{,}5x.$$

Находим значения безразмерного показателя y' для БОК:

$$y_1^{'} = -5{,}18 + 0{,}17 \cdot 37 = 1{,}11$$
$$y_1^{'} = -3{,}74 + 0{,}375 \cdot 13{,}7 = 1{,}4$$
$$y_1^{'} = 7{,}51 + 1{,}5 \cdot 4{,}7 = 0{,}46$$

Находим значения безразмерного показателя y' для БГК:

$$y_1^{'} = -5{,}18 + 0{,}17 \cdot 41 = 1{,}79$$
$$y_1^{'} = -3{,}74 + 0{,}375 \cdot 13{,}5 = 1{,}32$$
$$y_1^{'} = 7{,}51 + 1{,}5 \cdot 4{,}5 = 0{,}76$$

Рассчитываем частные показатели желательности.

Для БОК:

$$d_1 = e^{-e^{-1{,}11}} = 0{,}719$$
$$d_1 = e^{-e^{-1{,}4}} = 0{,}781$$
$$d_1 = e^{-e^{-0{,}46}} = 0{,}53$$

Для БГК:

$$d_1 = e^{-e^{-1{,}79}} = 0{,}846$$
$$d_1 = e^{-e^{-1{,}32}} = 0{,}766$$
$$d_1 = e^{-e^{-0{,}76}} = 0{,}626$$

В результате обобщения показатели желательности равны:

для БОК:

$$D = \sqrt[3]{0{,}719 \cdot 0{,}781 \cdot 0{,}53} = 0{,}649$$
$$D^{'} = 0{,}719^{0{,}5} \cdot 0{,}718^{0{,}2} \cdot 0{,}53^{0{,}3} = 0{,}667$$

для БГК:

$$D = \sqrt[3]{0{,}846 \cdot 0{,}766 \cdot 0{,}626} = 0{,}740$$
$$D^{'} = 0{,}846^{0{,}5} \cdot 0{,}766^{0{,}2} \cdot 0{,}626^{0{,}3} = 0{,}757$$

Таблица 5 – Сводная таблица функции желательности

Наименование	Натуральные значения откликов			Частные желательности			*D*	Оценка по шкале	*D'*	Оценка по шкале
	x_1	x_2	x_3	d_1	d_2	d_3				
БОК	37	13,7	4,7	0,719	0,781	0,530	0,649	хорошо	0,667	хорошо
БГК	41	13,5	4,5	0,846	0,766	0,626	0,740	хорошо	0,757	хорошо

С помощью функции желательности установили, что значения для добавок БОК и БГК находятся в диапазоне «хорошо» (D = 0,649…740). В итоге можно утверждать, что обогатительную добавку для комбикормов можно изготовлять без дефицитного, дорогостоящего кукурузного глютена, используя наиболее доступное сырьё бобовых культур (соя, люпин). Это обеспечивает сбалансированное кормление и высокую продуктивность молодняка свиней при меньших затратах денежных средств.

Заключение. Представленная методика позволяет:

- определять интегральный показатель качества кормовых добавок;
- оценивать результаты его применения;
- планировать и проводить более масштабные исследования направленные на оптимизацию состава кормов и кормовых добавок.

Список литературы

1. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. БВМК на основе сои и люпина // Комбикорма. – 2013. – № 11. – С. 77-78.

2. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. Усовершенствованная обогатительная добавка для комбикормов // Свиноводство – 2013. – № 8. – С.39-40.

3. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Милушев Р.К. Использование белка растительного происхождения и новых биологически активных веществ в обогатительной добавке для комбикормов // Научное обеспечение инновационного развития животноводства. Сб. Международной научно-практической конференции (24-25 октября 2013г.) Жодино. РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Белоруси по животноводству». – 2013. – С. 353-354.

4. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Бетин А.Н., Милушев Р.К. Обогатительная добавка на основе растительного белка в комбикормах для поросят // Главный зоотехник. – 2014. – № 5. – С. 18-23.

5. Шулаев Г.М., Энговатов В.Ф., Бетин А.Н., Милушев Р.К. Концентрат из растительного белка – альтернатива рыбной муке // Свиноводство. – 2014. – №4. – С. 73-74.

6. Пичкалев А.В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. Красноярск: КГТУ. – 1997. – С. 128−132.

7. Королева С.В. Практические аспекты использования функции желательности в медико-биологическом эксперименте // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. [Электронный ресурс]: URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5270.

8. Казарян Р.В., Бородихин А.С., Лукьяненко М.В., Семененко М.П., Мирошниченко П.В., Кузьминова Е.В. Оптимизация соотношения биологически активных веществ и пробиотической микрофлоры в рецепте комплексного кормового концентрата // Научный журнал КубГАУ – 2019. – № 149. – С. 149-157.

References

1. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. BVMK na osnove soi i ljupina // Kombikorma. – 2013. – № 11. – S. 77-78.

2. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. Usovershenstvovannaja obogatitel'naja dobavka dlja kombikormov // Svinovodstvo – 2013. – № 8. – S.39-40.

3. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Milushev R.K. Ispol'zovanie belka rastitel'nogo proishozhdenija i novyh biologicheski aktivnyh veshhestv v obogatitel'noj dobavke dlja kombikormov // Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitija zhivotnovodstva. Sb. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (24-25 oktjabrja 2013g.) Zhodino. RUP «Nauchno-prakticheskij centr Nacional'noj akademii nauk Belorusi po zhivotnovodstvu». – 2013. – S. 353-354.

4. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Betin A.N., Milushev R.K. Obogatitel'naja dobavka na osnove rastitel'nogo belka v kombikormah dlja porosjat // Glavnyj zootehnik. – 2014. – № 5. – S. 18-23.

5. Shulaev G.M., Jengovatov V.F., Betin A.N., Milushev R.K. Koncentrat iz rastitel'nogo belka – al'ternativa rybnoj muke // Svinovodstvo. – 2014. – №4. – S. 73-74.

6. Pichkalev A.V. Primenenie krivoj zhelatel'nosti Harringtona dlja sravnitel'nogo analiza avtomatizirovannyh sistem kontrolja // Vestnik KGTU. Krasnojarsk: KGTU. – 1997. – S. 128−132.

7. Koroleva S.V. Prakticheskie aspekty ispol'zovanija funkcii zhelatel'nosti v mediko-biologicheskom jeksperimente // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2011. – № 6. [Jelektronnyj resurs]: URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5270.

8. Kazarjan R.V., Borodihin A.S., Luk'janenko M.V., Semenenko M.P., Miroshnichenko P.V., Kuz'minova E.V. Optimizacija sootnoshenija biologicheski aktivnyh veshhestv i probioticheskoj mikroflory v recepte kompleksnogo kormovogo koncentrata // Nauchnyj zhurnal KubGAU – 2019. – № 149. – S. 149-157.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Милушев Ринат Келимулович – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: july1931@yandex.ru.

Шулаев Геннадий Михайлович – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: tniij@yandex.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: july1931@yandex.ru.

Shulaev Gennady – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: tniij@yandex.ru.

Zharikov Vadim – engineer of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 30.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 12.06.2020

УДК 621.521:637.116
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ И ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА И КОРПУСА ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ИЗ ПОЛИМЕРОВ

[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Родионов Юрий Викторович
[1]Скоморохова Анастасия Игоревна
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1]Галкин Павел Александрович
[1]Филатов Иван Сергеевич

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *На кафедре МИГ ТГТУ разработана конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН) с кинематическим эвольвентным зацеплением рабочего колеса с лопатками корпуса. Дальнейшая модернизация осуществлялась за счет изготовления зубчатой передачи из полимеров, что позволило значительно снизить металлоемкость конструкции и увеличить межремонтный срок эксплуатации. С целью повышения надежности и прочности зацепления лопаток корпуса и рабочего колеса предложено применять для их изготовления полимерные материалы с поверхностным упрочнением. Уточняли методики проверочного расчета модернизированных элементов конструкции ЖВН по контактным и изгибным напряжениям при использовании таких материалов. Исследовали новый способ поверхностного упрочнения деталей из полимерных материалов, сочетающий в себе совместное действие магнитного и термического полей для усиления диффузии частиц металлического порошка внутрь поверхности полимера. Показан пример получаемой микроструктуры после поверхностного упрочнения материала. Использованный порошок – технически чистое железо, средняя размерность частиц – 63 мкм, материал пластины – полипропилен. На основании ряда экспериментов было выяснено, что для наилучшего эффекта температура во время металлизации должна быть не менее 100 С°, а индукция магнитного поля – не менее 650 Гс. Основные положительные эффекты данного способа выражаются в повышении твердости и износостойкости изготавливаемых деталей. В ходе работы произведено уточнение методики проверочного расчета модернизированных элементов конструкции по контактным и изгибным напряжениям, намечены направления дальнейших экспериментальных исследований для практического расчета по предложенной методике.*

Ключевые слова: *жидкостнокольцевой вакуумный насос, рабочее колесо, лопатки корпуса, зацепление, проверочный расчет.*

THEORETICAL RESEARCHES OF CONTACT AND BENDING STRESSES OF THE BLADES OF THE IMPELLER AND THE HOUSING OF THE LIQUID RING VACUUM PUMP FROM POLYMERS

[1]Voronin Nikolay
[1]Rodionov Yuri
[1]Skomorokhova Anastasia
[1]Nikitin Dmitry
[1]Galkin Pavel
[1]Filatov Ivan

[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *The design of a liquid ring vacuum pump (ZHV) with kinematic involute gearing of the impeller with the blades of the housing was developed at the Department of MIG TSTU. Further modernization was carried out due to the manufacture of gears made of polymers, which significantly reduced the metal consumption of the structure and increased the overhaul life. It is proposed to use polymer materials with surface hardening for their manufacture in order to increase the reliability and meshing strength of the blades of the casing and the impeller. The methods of verification calculation of the modernized elements of the design of the liquid-fuel element according to contact and bending stresses using such materials were specified. A new method of surface hardening of parts made of polymer materials, combining the combined action of magnetic and thermal fields to enhance the diffusion of metal powder particles into the polymer surface, was investigated. An example of the obtained microstructure after surface hardening of the material is shown. The powder used is technically pure iron, the average particle size is 63 microns, the plate material is polypropylene. It was found that for the best effect, the temperature during metallization should be at least 100^0C, and the magnetic field induction should be at least 650 G based on a number of experiments. The main positive effects of this method are expressed in increasing the hardness and wear resistance of manufactured parts.*

Keywords: *liquid ring vacuum pump, impeller, casing blades, gearing, verification calculation.*

Введение. Механизация и интенсификация, а также повышение качества первичной переработки продукции животноводства и растениеводства является главной задачей АПК,

записанной в Постановлении Правительства РФ от 19 декабря 2014 г. № 1421 «О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» [1]. Данный документ является основополагающим в развитии АПК.

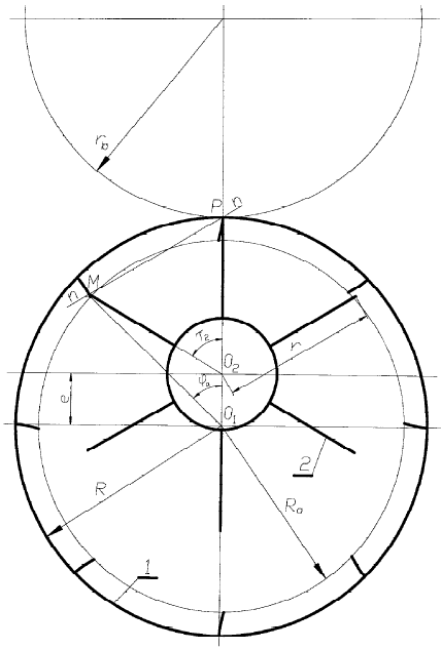
Особую роль в переработке сельскохозяйственного сырья приобретают вакуумные технологии, основанные на тепло-массообменных и механических процессах, позволяющие сохранить исходные биологически активные вещества за счет ведения технологического процесса при низких температурах кипения.

Популярным средством создания вакуума в различных технологических процессах АПК являются жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) [2, 3, 4]. Насосы такого типа используются в процессах доения, хранения растительной продукции, транспортирования, сушки, экстрагировании. Широкий диапазон использования ЖВН обусловлен следующими достоинствами: простотой конструкции, надежностью и безопасностью их применения (не загрязняют откачиваемые газы и объемы парами масел). При этом вопрос энергоэффективности и материалоемкости этих типов насосов недостаточно исследован. Поэтому средний КПД ЖВН равен 50 %. Для улучшения характеристик ЖВН и повышения их эффективности на кафедре Механика и инженерная графика Тамбовского государственного технического университета (МИГ «ТГТУ») проводятся теоретические и экспериментальные исследования.

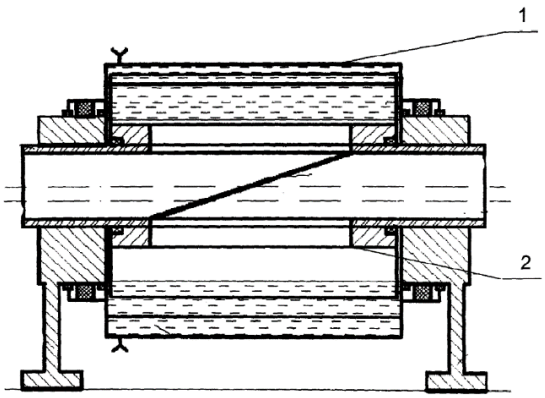
Цель работы. Уточнение методики проверочного расчета модернизированных элементов конструкции ЖВН по контактным и изгибным напряжениям при использовании полимерного материала с поверхностным упрочнением.

Методы и методики. Для теоретического анализа и уточнения методики проверочного расчета элементов конструкции ЖВН использовались формулы и теоретические сведения из курсов теория машин и механизмов [5], теория упругости [6], детали машин и основы конструирования [7], а также научно-справочные данные по полимерам [8].

На кафедре МИГ «ТГТУ» разработана конструкция ЖВН с кинематическим эвольвентным зацеплением рабочего колеса с лопатками корпуса, представленная на рис. 1. Ведущим звеном в предложенной конструкции может быть как рабочее колесо, так и корпус [9].



а) поперечный разрез ЖВН



б) продольный разрез ЖВН

Рисунок 1 – Схема ЖВН с кинематическим эвольвентным зацеплением рабочего колеса с лопатками корпуса

В одноступенчатом ЖВН размещены вращающийся цилиндрический корпус, имеющий на внутренней поверхности лопатки 1 и рабочее колесо 2, расположенное с эксцентриситетом (рисунок 1а). На неподвижном распределительном валу с перегородкой рабочее колесо может вращаться. Данной перегородкой формируются входной и выходной патрубки с разных торцов вала. Профиль лопаток корпуса очерчен по эвольвенте окружности. Чтобы вычислить радиус основной окружности лопаток корпуса, а также радиус окружности ограничителя длины лопаток, воспользуемся следующими формулами:

$$r_b = \frac{2R \cdot \sin\frac{\pi}{z_1} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{z_1 u} - \frac{\pi}{z_1}\right)}{\cos\frac{\pi}{z_1 u}}, \quad (1)$$

$$R_a = \sqrt{r^2 + e^2 + 2r \cdot e \cdot \cos(\tau_2 \cdot \varepsilon_\alpha)}, \quad (2)$$

где R – радиус, вращающегося цилиндрического корпуса с лопатками, мм;

r – радиус рабочего колеса, мм;

u – передаточное отношение от корпуса к рабочему колесу;

$e = R - r$ – эксцентриситет, мм;

$\tau_2 = \frac{2\pi}{z_2}$ – угловой шаг лопаток рабочего колеса;

ε_α – коэффициент перекрытия при зацеплении корпуса с лопатками.

Передаточное число считаем по формуле:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r}{R}. \quad (3)$$

При работе ЖВН вращение передается лопатками корпуса рабочему колесу за счет их взаимодействия, причем передаточное отношение постоянно. Угол перекрытия, ограничивающий зону взаимодействия лопаток, определяется формулой:

$$\varphi_\alpha = \tau_1 \cdot \varepsilon_\alpha, \quad (4)$$

где $\tau_1 = \frac{2\pi}{z_1}$ – угловой шаг лопаток корпуса.

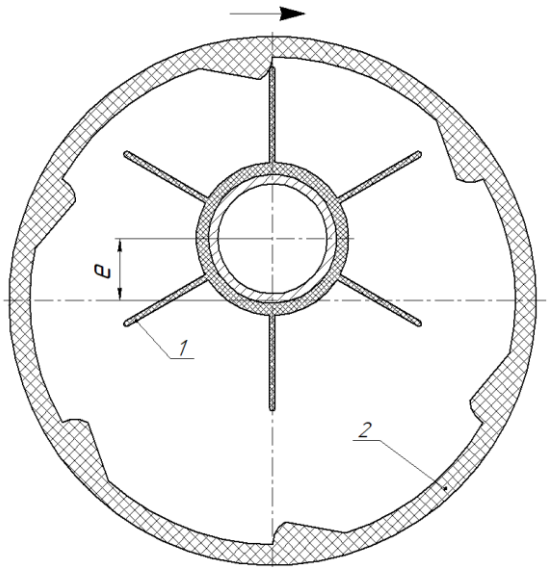
Таким образом, можно сделать допущение, что сопряжение лопаток корпуса и рабочего колеса является аналогом эвольвентной зубчатой передачи.

Перспективным направлением дальнейшей модернизации ЖВН является изготовление «эвольвентной зубчатой передачи» ЖВН из полимеров, что значительно снизит металлоемкость конструкции и повысит межремонтный срок эксплуатации.

Работа модернизированного одноступенчатого ЖВН (рисунок 2), аналогична работе ранее описанной конструкции. Конструкция данного насоса может быть классической [10]. В качестве полимерного материала для вращающегося корпуса с лопатками и рабочего колеса можно использовать сверхвысокомолекулярный полиэтилен, обладающий низким коэффициентом трения и высокой кавитационной стойкостью [11].

Для правильного проектирования данного зацепления по условию прочности требуются методы расчета напряжений и деформации, подходящие к конкретным условиям эксплуатации. Сложность этой задачи заключается в индивидуальных свойствах полимерных материалов, которые могут существенно отличатся. Например, отклонения деформации в одних случаях не прямо пропорциональны деформациям, а в других случаях напряжения деформации зависят от времени.

Следовательно, наиболее правильным показателем будет являться степень соответствия применяемого материала принятым законам, описывающим упругие деформации зацепления. При этом необходимо установить точно константы, применяемых полимеров для предлагаемого расчета. Если эти отклонения находятся в приемлемых пределах, то применение теории упругости для описания деформации используемых полимеров можно считать обоснованным.



1 – рабочее колесо, 2– корпус

Рисунок 2 – Элементы кинематического замыкания ЖВН, изготовленные из полимерного материала

Нахождение значения условного модуля упругости для контактного нагружения является важной задачей. Так как неправильное его определение является причиной больших ошибок. Также необходимо провести работы по изучению модуля упругости применительно к контактным нагружениям эвольвентного зубчатого полимерного зацепления.

Расчет кинематического замыкания в ЖВН осуществляется по условиям прочности зубьев рабочего колеса и корпуса по контактным напряжениям и напряжениям изгиба. При этом должно соблюдаться условие прочности.

Важным этапом расчета контактной прочности зубьев будет являться проверка геометрических параметров зацепления, для того чтобы обеспечить недопущение разрушения поверхностей лопаток корпуса и колеса, находящихся в зацеплении [12].

Искомое значение контактных напряжений можно вычислить, используя следующую формулу:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{q}{\rho_{пр}} \cdot \frac{2E_1E_2}{\pi\left[E_1\left(1-\mu_2^2\right)+E_2\left(1-\mu_1^2\right)\right]}} \qquad (5)$$

где $\rho_{пр} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}$ – приведенный радиус кривизны, мм;

q – расчетная распределенная нагрузка, Н/мм;

E_1, E_2 – модули упругости используемых материалов, МПа;

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона используемых материалов (в рамках данной работы для зуба корпуса и рабочего колеса).

Результаты и их обсуждение. Расчет на прочность кинематического замыкания зубьев ЖВН выполняем по [13]. Для этого вводим некоторые упрощения, существенно облегчающие расчет и не оказывающие влияние на результаты для практического применения.

Для определения контактной прочности сопряженных поверхностей необходимо рассматривать соприкосание лопаток корпуса и колеса в полюсе, так как в этой зоне поверхности в большей степени подвержены выкрашиванию. Для конструкционных металлов при расчетах принимают $\mu_1 = \mu_2 = 0{,}3$, тогда формула 5 примет вид:

$$\sigma_H = 0{,}418\sqrt{\frac{qE_{пр}}{\rho_{пр}}}\ , \qquad (6)$$

где $E_{пр} = \dfrac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$ - приведенный модуль упругости, МПа;

Если сопрягаемые элементы выполнены из разнородных материалов (например, сталь – полимер) формулу контактных напряжений необходимо скорректировать, из-за различия коэффициентов Пуассона и модулей упругости.

Тогда формула (5) примет вид:

$$\sigma_H = 0{,}798\sqrt{\frac{q}{\rho_{пр}} \cdot \frac{E_1E_2}{E_1\left(1-\mu_2^2\right) + E_2\left(1-\mu_1^2\right)}}\ . \qquad (7)$$

Средние коэффициенты трения некоторых полимеров по стали приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние коэффициенты трения полимеров по стали

Полимер	Коэффициент трения по стали
Полиэтилен высокой плотности	0,3-0,35
Полипропилен	0,3
Полиамид	0,1-0,2
Полиацеталь (полиформальдегид)	0,25
Сверхвысокомолекулярный полиэтилен PE-1000	около 0,1
Фторопласт-4	0,04-0,15

Когда используются детали, изготовленные из одного полимера и одинаково упрочненные, величины μ и E становятся «общими», однако подлежат экспериментальному определению, так как характеристики полимера при упрочнении (степень кристалличности, прочность при изгибе, стойкость к ударным нагрузкам и т.д.) изменятся. Соответственно, формула (6) в такой ситуации подлежит корректировке и преобразованию. Тогда она примет вид:

$$\sigma_H = 0{,}5642\sqrt{\frac{q}{\rho_{пр}} \cdot \frac{E_{пол}}{\left(1-\mu_{пол}^2\right)}}\ , \qquad (8)$$

где $E_{пол}$ – модуль упругости используемого упрочненного полимера, МПа;

$\mu_{пол}$ – коэффициент Пуассона упрочненного полимера.

С учетом рабочих температур ЖВН наиболее подходящими полимерами являются полиамид и полиацеталь, применяющиеся для изготовления лопаток рабочего колеса и корпуса насоса, в том числе, и в исходном виде. Полиацеталь отличается также хорошей стойкостью к ударным нагрузкам, а также более высокой, чем у полиамида, точностью размеров и стабильностью из-за более низкого водопоглощения. Использование высокотемпературных и сверхвысокомолекулярных полимеров на данном этапе не является целесообразным по причине того, что пока не известно, как они поведут себя после упрочнения, а также некоторыми сложностями при их переработке. Тем не менее, использование сверхвысокомолекулярных полимеров (например, СВМПЭ, фторопласта-4 или композитов на его основе) вполне возможно в дальнейшем после проведения соответствующих дополнительных исследований.

В случае использования одинаковых неупрочненных полимеров формула контактных напряжений остается аналогичной (6). В тоже время необходимо учитывать изменения коэффициента Пуассона в случае возможного нагрева деталей. Также необходимо учитывать свойства используемых полимеров – например, чистый фторопласт - 4 имеет отрицательные свойства: хладотекучесть, мягкость и низкую теплопроводность. Поэтому чаще применяют фторопласт, наполненный различными порошкообразными наполнителями (кокс, дисульфид молибдена, стекловолокно, углеродистое волокно).

В настоящее время исследователями ТГТУ разрабатывается новый способ поверхностного упрочнения деталей из полимерных материалов, сочетающий в себе совместное действие магнитного и термического полей для усиления диффузии частиц металлического порошка внутрь

поверхности полимера. Пример микроструктуры поверхности после упрочнения показан на рис. 3. Использованный порошок – технически чистое железо, средняя размерность частиц – 63 мкм, материал пластины – полипропилен. На основании ряда экспериментов было выяснено, что для наилучшего эффекта температура во время металлизации должна быть не менее 100 °С, а индукция магнитного поля – не менее 650 Гс.

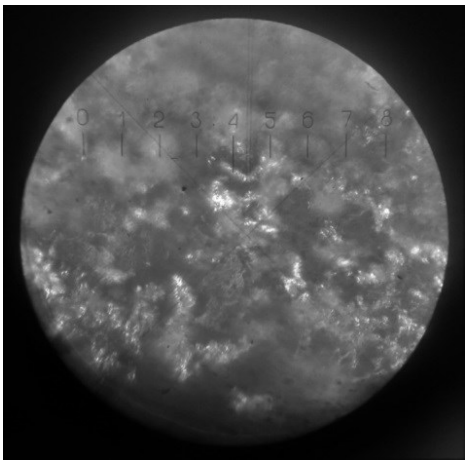


Рисунок 3 – Микроструктура поверхности полимерной пластины после упрочнения. Увеличение 650^{x}.

Основные положительные эффекты этого способа упрочнения – повышение твердости и износостойкости обработанной поверхности детали. Однако, чтобы обрабатывать детали больших размеров, необходимы изменения в конфигурации магнито-термической системы.

Нагрузку q принимаем равной максимальной удельной нагрузке, распределенной по линии контакта зубьев, которая для ЖВН равна ширине венца колеса b_w.

Возникающие в полюсе зацепления по причине взаимодействия между зубьями силы показаны на рис. 4. Также уместна замена распределенной нагрузки в зацеплении равнодействующей силой F_n (на рисунке 4 она имеет направление вдоль линии давления (зацепления) nn). Помимо этого, можно пренебречь силами трения в зацеплении.

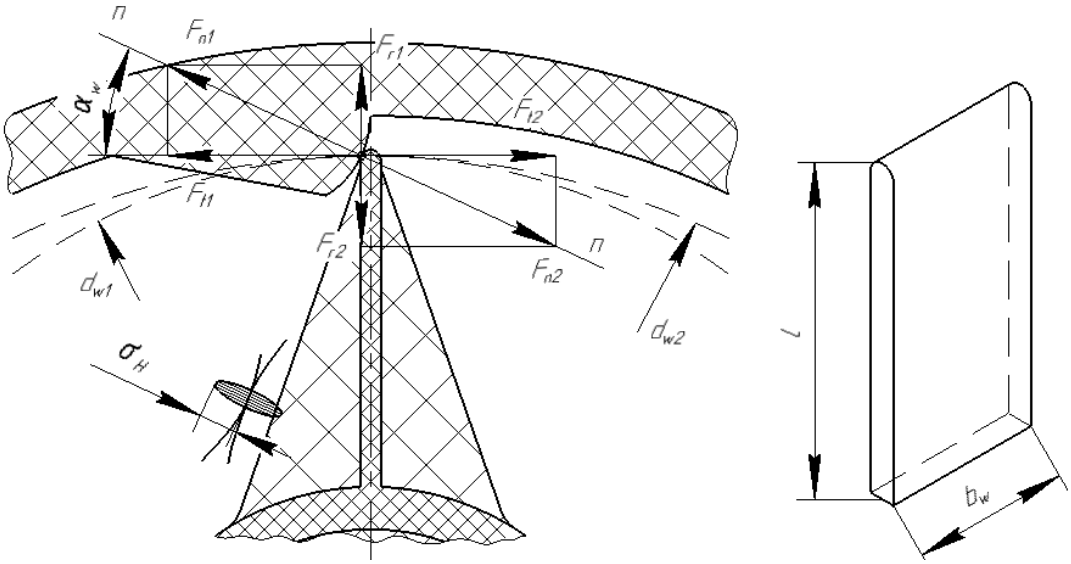


Рисунок 4 – Силы, действующие в зацеплении

Для расчета нормальные силы F_{n1} и F_{n2} в сопряжении раскладываем на следующие составляющие (тангенциальную и радиальную).

Тангенциальная сила в зацеплении на лопатке корпуса

$$F_{t1} = F_{n1}\cos\alpha_w = \frac{2T_1}{d_{w1}}. \quad (9)$$

На лопатке рабочего колеса

$$F_{t2} = F_{n2}\cos\alpha_w = \frac{2T_2}{d_{w2}}, \quad (10)$$

где α_w – угол зацепления, град;

T_1, T_2 – вращающий момент корпуса и рабочего колеса, Н*мм;

d_{w1}, d_{w2} – начальный диаметр корпуса и рабочего колеса, мм;

Радиальная составляющая силы:

от лопаток корпуса

$$F_{r1} = F_{t1} tg\alpha_w, \quad (11)$$

от рабочего колеса

$$F_{r2} = F_{t2} tg\alpha_w. \quad (12)$$

Удельную распределенную нагрузку определяем, как

$$q = \frac{F_{t1}K_H}{b_w\cos\alpha_w} = \frac{2T_1K_H}{d_{w1}b_w\cos\alpha_w}, \quad (13)$$

Коэффициент расчетной нагрузки для нашего случая запишем:

$$K_H = K_{H\beta}K_{Hv}, \quad (14)$$

где $K_{H\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки;

K_{Hv} – коэффициент динамической нагрузки.

Коэффициент динамической нагрузки считаем зависимостью:

$$K_{Hv} = 1 + \frac{q_v}{q}, \quad (15)$$

где q_v – удельная динамическая нагрузка, Н/мм;

q – удельная расчетная рабочая нагрузка в зоне ее наибольшей концентрации, Н/мм.

Радиусы кривизны эвольвентного зацепления элементов ЖВН в точке контакта определены согласно рисунок 5 [14].

$$\rho_1 = \frac{d_{w1}\sin\alpha_w}{2}, \quad (16)$$

$$\rho_2 = \frac{d_{w2}\sin\alpha_w}{2}. \quad (17)$$

тогда

$$\frac{1}{\rho_{np}} = \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} = \frac{2}{d_{w1}\sin\alpha_w} - \frac{2}{d_{w2}\sin\alpha} = \frac{2}{d_{w1}\sin\alpha}\left(\frac{u-1}{u}\right), \quad (18)$$

$$\cos\alpha_w\sin\alpha_w = (\sin 2\alpha_w)/2,$$

получаем:

$$\sigma_H = 1{,}18\sqrt{\frac{E_{np}T_1K_H}{d_{w1}^2 b_w \sin 2\alpha_w}\left(\frac{u-1}{u}\right)} \le [\sigma_H]. \quad (19)$$

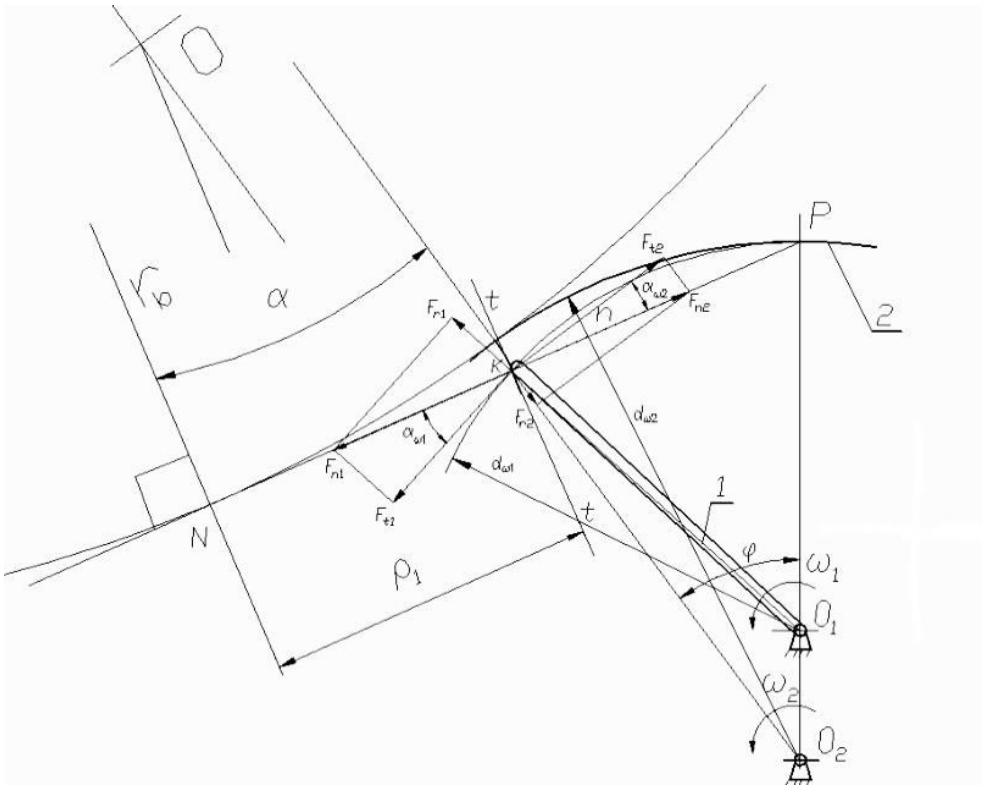


Рисунок 5 – Определение радиуса кривизны

Значение контактных напряжений и передаточное число u не определяется приводом вращающегося звена. Однозначное определение u дает возможность практически исключить вероятность ошибки при расчете. Величины расчетных контактных напряжений одинаковы для рабочего колеса и корпуса ЖВН. Расчет необходимо выполнить по меньшему допускаемому напряжению.

Крутящие моменты на валу рабочего колеса и корпуса на 35 % меньше у данного насоса по сравнению с ЖВН неподвижным корпусом и определяются по литературе [15].

Вводя коэффициент нагрузки K_F, равный K_H, получим формулу для проверочного расчета зубьев ЖВН с кинематическим замыканием при изгибе, как

$$\sigma_F = \frac{Y_F K_F F_t}{\left(b_w \cdot 0{,}5 b_w\right)} \cdot K_B \le \left[\sigma_F\right], \tag{20}$$

где $\left[\sigma_F\right]$ – допускаемое напряжения изгиба, МПа;

$Y_F -$ коэффициент формы зацепляющей части рабочего колеса;

$K_B -$ коэффициент бандажа

$$Y_F = \frac{6 K_т \alpha}{\gamma^2}, \tag{21}$$

где α – коэффициент формы лопатки по высоте;

$K_т$ – теоретический коэффициент концентрации напряжений;

$Y_F -$ коэффициент формы лопатки по сечению. Данный коэффициент подлежит экспериментальному исследованию. Для простоты расчета расчета его можно определять, через условный модуль зацепления.

Заключительным этапом определим допускаемые контактные и изгибные напряжения при расчете на усталость [12] по формуле:

$$[\sigma_H] = \left(\frac{\sigma_{H\lim}}{S_H}\right) Z_N, \quad (22)$$

где $\sigma_{H\lim}$ – предел контактной выносливости;

S_H – коэффициент безопасности;

Z_N – коэффициент долговечности.

Для того чтобы определить величину $\sigma_{H\lim}$, необходимо знать материалы сопрягаемых звеньев, а также их твердость $H_{ср}$.

Для лопаток и корпуса, изготовленных из упрочненного полимера, данную величину следует определить экспериментальным путем. По формуле ниже рассчитывается коэффициент долговечности Z_N

$$Z_N = \sqrt[6]{\frac{N_{HG}}{N_{HE}}} \geq 1, \quad (24)$$

где N_{HG} – базовое число циклов;

N_{HE} – эквивалентное число циклов.

Число N_{HG} определяется по твердости поверхности зубьев корпуса и лопаток рабочего колеса. При этом, если используются полимеры необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Эквивалентное число циклов N_{HE} необходимо вычислить, используя приведенную ниже формулу:

$$N_{HE} = \mu_H N_K, \quad (25)$$

где μ_H – коэффициент эквивалентности, определяемый по формуле

$$\mu_H = \sum \left(\frac{T_i}{T_{\max}}\right)^3 \frac{N_i}{N_K}, \quad (26)$$

где T_i – текущее значение вращающего момента на графике циклограммы моментов нагружения, Н;

$T_{\max}$ – максимальный вращающий момент, участвующий при расчете на усталость. Н;

N_K – ресурс звена, необходимый на частоте вращения n, мин$^{-1}$.

$$N_K = 60 n t_\Sigma \quad (27)$$

где t_Σ – суммарный срок службы в часах, именуемый ресурсом зацепления, определим как

$$t_\Sigma = L \cdot 365 K_{год} 24 K_{сут}, \quad (28)$$

где L – количество лет работы ЖВН;

$K_{год}$, $K_{сут}$ – коэффициенты использование насоса в году и сутках.

Допускаемые изгибные напряжения при расчете на усталость определяются по формуле:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} Y_N, \quad (29)$$

где $\sigma_{F\lim}$ – предел выносливости зубьев по напряжениям изгиба;

S_F – коэффициент безопасности;

Y_N – коэффициент долговечности (рассчитывается аналогично Z_N).

Выводы.

Разработана модернизированная конструкция ЖВН с кинематическим замыканием, в которой корпус и лопатки рабочего колеса предложено изготовить из упрочненного полимера.

Предложен новый способ поверхностного упрочнения деталей из полимерных материалов, сочетающий в себе совместное действие магнитного и термического полей для усиления диффузии частиц металлического порошка внутрь поверхности полимера. Для этого

использовалось технически чистое железо (средний размер частиц порошка – 63 мкм). Установлено, что для наилучшего эффекта температура во время металлизации должна быть не менее 100 °С, а индукция магнитного поля – не менее 650 Гс.

Уточнена методика проверочного расчета лопаток корпуса и рабочего колеса по контактным и изгибным напряжениям при использовании полимерного материала с поверхностным упрочнением.

Намечены направления дальнейших экспериментальных исследований для практического расчета по предложенной методике.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 в ред. от 19.11.2014 № 1421 «О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы» // Собрание законодательства РФ. – 2014. – № 18. – С. 21-61.

2. Завражнов А.И., Митрохин М.А., Пальчиков Е.В., Родионов Ю.В., Преображенский В.А., Воробьев В.Б. Применение жидкостнокольцевых вакуумных насосов при сушке растительного сырья // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Т. 17 №1. – С. 63-67.

3. Burgmann W., Göhler K. Modern vacuum pumps for the vacuum degassing of steel in small and large vacuum-degassing units // Metallurgist. – 2013. – V. 57. – №. 5-6. – P. 516-525.

4. Ужик В.Ф., Борозенцев В.И. К обоснованию конструкции доильного аппарата выжимающего принципа действия // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения: Материалы конф. – ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – 2018. – С. 228-233.

5. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.

6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ. / Под ред. Г. С. Шапиро. — 2-е изд. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 560 с.

7. Иванов М.Н., Фиогенов В.А. Детали машин. Учебник для машиностроительных специальностей вузов – 10-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2006. – 408 с.

8. Энциклопедия полимеров: В 3 т. [Текст] / Редкол.: Кабанов В.А. (гл. ред.) и др.. М.: Советская энциклопедия, 1972-1977.

9. Пат. 2492360 Российская Федерация, МПК F04C 7/00 F04C 19/00, Жидкостно-кольцевая машина / Галкин П.А., Зорин А.С., Никитин Д.В., Нищев А.А., Родионов Ю.В., Сычев М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамб. ГТУ», ООО «Навакс». № 2011144960/06; заявл. 07.11.2011; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25, 7 с.: 2 ил.

10. Фролов Е.С., Автономова И.В., Васильев В.И., Никулин Н.К., Пластинин П.И. Механические насосы / М.: Машиностроение, 1989 – 288 с.

11. Патент на полезную модель RU 161934 U1. Российская Федерация, F04C 7/00, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина: № 2015128712/06: заявл. 14.07.2015: опубл. 20.05.2016 / Ю. В. Родионов, П. А. Галкин, Д. В. Никитин, М. В. Сычев. – 9 с.

12. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. – 9-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.

13. ГОСТ 21354-87 (СТ СЭВ 5744-86) Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.10.87 N 4020: дата введения 1989-01-01. – URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-21354-87 – Текст: Электронный.

14. Галкин П.А. Определение качественных показателей взаимодействия сопряженных профилей в нестандартном оборудовании АПК / П.А. Галкин, О.В. Ломакина, С.В. Савидов //

15. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps // Chemical and Petroleum Enginiring, 2019. – T. 55. No 5-6. Pp. 473-479.

References

1. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14.07.2012 v red. ot 19.11.2014 № 1421 «O vnesenii izmenenij v Gosudarstvennuyu programmu razvitiya sel'skogo hozyajstva i regulirovaniya rynkov sel'skohozyajstvennoj produkcii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013 - 2020 gody» // Sobranie zakonodatel'stva RF. – 2014. – № 18. – S. 21-61.

2. Zavrazhnov A.I., Mitrohin M.A., Pal'chikov E.V., Rodionov YU.V., Preobrazhenskij V.A., Vorob'ev V.B. Primenenie zhidkostnokol'cevyh vakuumnyh nasosov pri sushke rastitel'nogo syr'ya // Problemy razvitiya APK regiona. – 2014. – T. 17 №1. – S. 63-67.

3. Burgmann W., Göhler K. Modern vacuum pumps for the vacuum degassing of steel in small and large vacuum-degassing units // Metallurgist. – 2013. – V. 57. – №. 5-6. – P. 516-525.

4. Uzhik V.F., Borozencev V.I. K obosnovaniyu konstrukcii doil'nogo apparata vyzhimayushchego principa dejstviya // Aktual'nye problemy agroinzhenerii i puti ih resheniya: Materialy konf. – FGBOU VO Belgorodskij GAU. – 2018. – S. 228-233.

5. Artobolevskij I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin: Ucheb. dlya vuzov. — 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Nauka. gl. red. fiz.-mat. lit., 1988. – 640 s.

6. Timoshenko S.P., Gud'er Dzh. Teoriya uprugosti: Per. s angl. / Pod red. G. S. SHapiro. — 2-e izd. M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoj literatury, 1979. – 560 s.

7. Ivanov M.N., Fiogenov V.A. Detali mashin. Uchebnik dlya mashinostroitel'nyh special'nostej vuzov – 10-e izd., ispr. – M.: Vyssh. shk., 2006. – 408 s.

8. Enciklopediya polimerov: V 3 t. [Tekst] / Redkol.: Kabanov V.A. (gl. red.) i dr.. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1972-1977.

9. Pat. 2492360 Rossijskaya Federaciya, MPK F04C 7/00 F04C 19/00, ZHidkostno-kol'cevaya mashina / Galkin P.A., Zorin A.S., Nikitin D.V., Nishchev A.A., Rodionov YU.V., Sychev M.V.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «Tamb. GTU», OOO «Navaks». № 2011144960/06; zayavl. 07.11.2011; opubl. 10.09.2013, Byul. № 25, 7 s.: 2 il.

10. Frolov E.S., Avtonomova I.V., Vasil'ev V.I., Nikulin N.K., Plastinin P.I. Mekhanicheskie nasosy / M.: Mashinostroenie, 1989 – 288 s.

11. Patent na poleznuyu model' RU 161934 U1. Rossijskaya Federaciya, F04C 7/00, F04C 19/00. ZHidkostno-kol'cevaya mashina: № 2015128712/06: zayavl. 14.07.2015: opubl. 20.05.2016 / YU. V. Rodionov, P. A. Galkin, D. V. Nikitin, M. V. Sychev. – 9 s.

12. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya: v 3-h t. T. 1. – 9-e izd., pererab. i dop. / pod red. I.N. ZHestkovoj. – M.: Mashinostroenie, 2006. – 928 s.

13. GOST 21354-87 (ST SEV 5744-86) Peredachi zubchatye cilindricheskie evol'ventnye vneshnego zacepleniya. Raschet na prochnost'. Utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 27.10.87 N 4020: data vvedeniya 1989-01-01. – URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-21354-87 – Tekst: Elektronnyj.

14. Galkin P.A. Opredelenie kachestvennyh pokazatelej vzaimodejstviya sopryazhennyh profilej v nestandartnom oborudovanii APK / P.A. Galkin, O.V. Lomakina, S.V. Savidov //

15. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps // Chemical and Petroleum Enginiring, 2019. – T. 55. No 5-6. Pp. 473-479.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Галкин Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

Voronin Nikolay – Postgraduate Student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay. 1994@yandex.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Skomorokhova Anastasia – Student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: nasta373@mail.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Galkin Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Filatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 30.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.06.2020

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-97-102

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ГРАФИТОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И ИХ РАБОТЫ В МЕХАНИЗМАХ

[1]Остриков Валерий Васильевич
[2]Vigdorowitsch Michael
[1]Сазонов Сергей Николаевич
[1]Забродская Алла Владимировна

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

Реферат. *Пластичные смазки, работающие в подшипниках скольжения, подвержены действию высоких нагрузок и температур. Для повышения эксплуатационных свойств в смазки добавляют высокодисперсные нерастворимые в маслах вещества – наполнители. Однако до настоящего времени отсутствуют однозначные подходы и теоретические обоснования процессов, происходящих в смазках и объясняющих эффект образование пленок от действия трибопрепаратов, наполнителей с учетом их специфических особенностей и т.д. Получено уравнение, объясняющее в определенной степени причину по которой смазки с графитовым наполнителем не нашли широкого применения в высокоточной технике, в которой вследствие малых допусков возникают значительные, не гасящиеся вторичными факторами силы. Из-за большого количества слоев монотонно возрастающая функция обеспечивает значительное мультиплицирующее воздействие на нижний слой, трансформируя тангенциальное воздействие нормальное через вандерваальсовые связи кристаллической решетки. В результате приложения достаточно значительной внешней силы нижний слой может отрываться от металлической поверхности, преодолевая силы адгезии. Получено выражение, характеризующее критическое значение давления в паре трения, при которой происходит отрыв фрагмента пленки для смазки с графитовым наполнителем. Элементарная 2D-ячейка ячейка графита охватывает два атома, постоянная решётки графита a= 0.246 нм. На основании теоретических предпосылок получено выражение для определения числа узлов в «отрываемом» фрагменте пленки. Единственным варьируемым параметром в полученном уравнении является количество слоев, связанных с толщиной пленки. Зная энергию связи 1 моля пленки и ее толщину можно вычислить давление отрыва.*

Ключевые слова*: пластичная смазка, графит, углерод, слой, кристаллическая решетка, пленка, вандерваальсовые связи, давление, узел трения.*

THEORETICAL ASPECTS OF EVALUATING THE RINSING EFFICIENCY OF THE ICE LUBRICATION SYSTEM FROM POLLUTION

[1]Ostrikov Valery
[2]Vigdorowitsch Michael
[1]Sazonov Sergeyy
[1]Zabrodskaya Alla
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]Angara GmbH

Abstract. *Greases running in plain bearings are subject to high loads and temperatures. Highly dispersed oil-insoluble substances - fillers are added to lubricants to increase operational properties. However, to date, there are no unambiguous approaches and theoretical justifications of the processes occurring in lubricants and explaining the effect of film formation from the action of tribological preparations, fillers, taking into account their specific features, etc. An equation is obtained that explains, to a certain extent, the reason why lubricants with graphite filler are not widely used in high-precision technology, in which, due to small tolerances, significant forces that are not quenched by secondary factors arise. Due to the large number of layers, a monotonically increasing function provides a significant multiplying effect on the lower layer, transforming the normal tangential effect through the van der Waals bonds of the crystal lattice. As a result of the application of a sufficiently significant external force, the lower layer can break away from the metal surface, overcoming the adhesion forces. An expression is obtained characterizing the critical value of pressure in a friction pair at which a fragment of a film for lubrication with a graphite filler breaks off. An elementary 2D cell, a graphite cell covers two atoms, the lattice constant of a graphite is a = 0.246 nm. The expression for determining the number of nodes in the "torn off" film fragment is obtained on the basis of theoretical assumptions. The only variable parameter in the resulting equation is the number of layers associated with the film thickness. Knowing the binding energy of 1 mole of the film and its thickness, the separation pressure can be calculated.*

Keywords: *grease, graphite, carbon, layer, crystal lattice, film, van der Waals bonds, pressure, friction unit.*

Основная часть. Пластичные смазки в узлах трения сельскохозяйственной техники работают при высоких нагрузках. В процессе механического воздействия на смазку часть связей в ней разрушается и после прекращения (остановки) компенсационная структура полностью не восстанавливается, являясь тиксолабильной системой. Однако из-за наличия в смазках большого числа менее прочных, но более лабильных связей к практически мгновенному восстановлению, сплошность слоя смазки не нарушается [1, 2].

Для повышения эксплуатационных свойств рассматривается возможность модификации товарных смазок специальными присадками, добавками и наполнителями [3, 4].

Как известно, присадки обладают свойствами поверхностно – активных веществ, что предопределяет их активность в объеме смазки и на границе раздела дисперсной фазы с дисперсной средой [1].

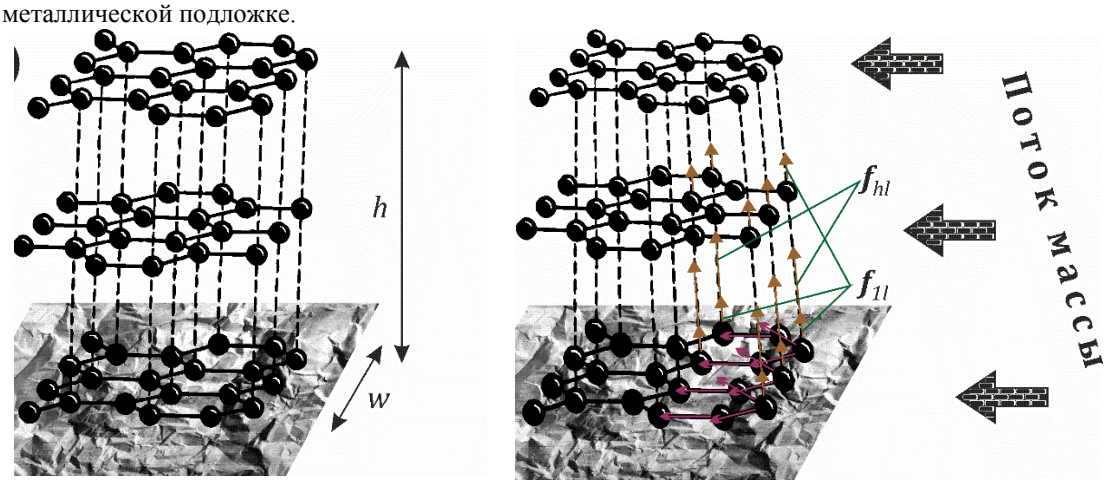
Другой важной составляющей, входящей в состав смазок, являются высокодисперсные, нерастворимые в маслах вещества, не образующие в смазках коллоидной структуры, но улучшающие эксплуатационные свойства смазок. К таким веществам относят дисульфид молибдена, сульфиды некоторых металлов, полимеры, оксиды и комплексные соединения металлов, графит и т.д., которые обычно замешивают в готовую смазку в количестве от 1 до 30 %. Подобного рода наполнители вводят в основном в смазки, работающие в тяжелонагруженных узлах трения подшипников скольжения [1, 5].

Достаточно спорными остаются вопросы использования графитовых и графеновых элементов в качестве добавок к смазкам для повышения их противоизносных свойств [6, 7]. При всех имеющих место противоречиях существуют различные теоретические подходы и результаты практических исследований, которые как подтверждают, так и отрицают имеющиеся представления.

Частицы графита, будучи добавленными в пластичную смазку, в ходе приработки пары металл - металл заполняют и сглаживают микронеровности рабочих поверхностей смазываемых деталей, формируя на них пленку [8]. Использование графитовых смазок, как правило, ограничено низкоскоростными механизмами и узлами, не относящимися к числу высокоточных. Существует практика использования поляризованного графита вместо обычного, что преследует цель повышения адгезии смазки к металлическим поверхностям. Очевидно, что адгезия в случае графита обусловлена вандерваальсовыми силами, поскольку при этом не происходит ни химических реакций, ни внедрения в кристаллическую решетку подложки.

Кристаллическая решетка графита относится к числу гексагональных и состоит из компланарных слоёв, образованных правильными шестиугольниками с атомами углерода в вершинах. В наиболее часто встречающейся аллотропной модификации графита, атомы углерода каждого слоя расположены на уровне центров шестиугольников соседних (нижнего и верхнего) слоёв, т.е. каждый слой оказывается упорядоченно сдвинут относительно другого. При этом каждый второй слой позиционируется эквивалентно предыдущему. Каждый атом углерода в пределах одного слоя связан ковалентными связями с тремя соседними атомами. Связи между слоями традиционно рассматриваются как обусловленные вандерваальсовыми силами [9], что в целом характерно для минералов с гексагональной решёткой в пределах одного слоя, хотя имеются дискуссионные соображения относительно отличающейся природы таких связей [10]. Последнее, однако, не влияет на дальнейшее рассмотрение, поскольку энергия межслойной связи в любом случае вдесятеро меньше энергии гексагональной связи [11]. Вследствие этого, графит обладает резко анизотропными характеристиками. Так, предел прочности при сжатии наиболее высок и составляет 70-100 МН/м^2, при растяжении 12,5-20,0 МН/м^2, при статическом изгибе 20,0 – 38,0 МН/м^2 .

На рисунке 1а с известной степенью условности представлена структура графитовой плёнки на металлической подложке. Первый (нижний) слой вследствие адгезии удерживает всю плёнку на металлической подложке.



а) б)

а) в отсутствии внешних сил; б) в присутствии внешних сил, обусловленных потоком массы внутри функционирующего узла/механизма.

Векторы: f_{1l} – нормальная компонента внешней силы, приложенной к каждому узлу каждого слоя, вдоль вандерваальсовой связи (показаны для двух первых слоёв), f_{hl} – суммарная по всем слоям, кроме первого, нормальная компонента внешней силы, приложенной к каждому узлу каждого слоя, действующая на 1-й слой.

Рисунок 1 – Графитовая плёнка на металлической подложке (показаны 3 слоя)

На рисунке 1б представлена система при наличии нагрузки вследствие потока массы. Возникают внешние силы F, действующие на каждый слой. Первоначально приложенные к крайним узлам, они в виде тангенциальных компонент F_t передаются по ковалентным связям

вдоль всей решётки. В силу наибольшей прочности в данной конструкции именно ковалентных связей и наибольшей стойкости решётки в отношении сжатия, тангенциальные компоненты оказывают на решётку действие лишь в виде сдвига слоя, деформация же гексагональных ячеек оказывается пренебрежимо мала. Иначе обстоит ситуация с нормальными (по отношению к усреднённо горизонтальной поверхности подложки) компонентами внешних сил. Они прикладываются к узлам в направлении вандерваальсовых связей.

Сила, действующая на каждый узел нижнего слоя, может быть условно представлена суммой двух сил – f_{1l}, изначально приложенной именно к самим узлам в пределах отдельного слоя, и f_{hl} – суммы сил, приложенных к узлам вышележащих слоёв, с которыми связан вандерваальсовыми силами вдоль всей вертикали плёнки данный узел нижнего слоя. Вводя обозначения $F_{1l} = \sum f_{1l}$ и $F_{hl} = \sum f_{hl}$, где суммирование осуществляется по всем узлам в пределах нижнего слоя, запишем разложение внешних сил на тангенциальную и нормальную компоненты в пределах кристаллической решётки:

$$F = F_{\tau} + F_{n}, \tag{1}$$

где $F_n = F_{1l} + F_{hl}$, что означает рассмотрение с этого момента уравнения (1) применительно к первому слою (для вышележащих слоёв суммирование по ещё более вышележащим слоям даст меньшую сумму $\sum f_{hl}$). Присваивая нижнему слою индекс «0» и обозначив полное число вышележащих слоев через k, введём функцию-мультипликатор $m(k)$, определённую для целочисленных $k \geq 1$:

$$F_{hl} = m(k) F_{1l} \tag{2}$$

Мы исходим из того, что $F_{hl} \langle \sum F_{1l}$, поскольку неизбежно происходит передача некоторой компоненты сил в тангенциальном направлении вследствие неидеальной ортогональности тангенциального и нормального базисных направлений по причине искривления решётки под воздействием внешней силы. Тангенциальная компонента сил в итоге оказывается мала, т.к. благодаря эластичности нормальных связей происходит конвертация тангенциального воздействия в нормальное. С учётом уравнения (2), для нормальной компоненты действующей на нижний слой силы получаем уравнение:

$$F_n = \left[1 + m(k)\right] F_{1l} \tag{3}$$

Уравнение (3) объясняет в определенной степени причину, по которой графитовые смазки не нашли применения в высокоскоростных механизмах и высокоточной технике, в которой вследствие малых допусков возникают значительные, не гасящиеся вторичными факторами силы. Из-за большого количества слоёв k монотонно возрастающая функция $m(k)$ обеспечивает значительное мультиплицирующее воздействие на нижний слой, трансформируя тангенциальное воздействие в нормальное через вандерваальсовы связи кристаллической решётки. В результате приложения достаточно значительной внешней силы нижний слой отрывается от металлической подложки, преодолевая силы адгезии. Отрыв начинается с того края одного из многочисленных линейных дефектов (дислокаций) металлической подложки, который расположен со стороны действия внешней силы. При этом в рамках используемой здесь механистической аналогии, отрыв графитовой плёнки проводится постепенно вдоль всей её длины (в случае плёнки – до следующей дислокации, где плёнка, возможно, рвётся).

Найдём критическое значение давления в механизме или узле, при котором происходит отрыв фрагмента графитовой плёнки. Площадь боковой поверхности плёнки, испытывающей действие внешней силы, равна $S = hw = (h_0 + kh_1)w$ (рисунок 1а), где $h_1 = 0.3354 нм$ нм – межслоевое расстояние кристаллической решётки графита, h_0 – расстояние от нижнего слоя до усреднённой поверхности подложки. При критическом давлении P_c, приводящем к отрыву плёнки, имеет место равенство:

$$E_{ad} = (h_0 + kh_1) \cdot l \cdot w \cdot P_c, \tag{4}$$

где l – линейный размер фрагмента графитовой плёнки. В связи с однородности направлений, можно положить $l \sim w$ и далее вместо их произведения использовать усреднённый по поверхности подложки квадрат линейного размера дислокации (w^2). Энергия адгезионной связи E_{ad} отрываемого фрагмента плёнки равна:

$$E_{ad} = E_{ad}^{mole} \frac{N}{N_A}, \quad (5)$$

где N – число узлов в отрываемом фрагменте плёнки, N_A – число Авогадро, E_{ad}^{mole} – энергия адгезионной связи 1 моля атомов углерода в плёнке. Элементарная 2D-ячейка графита охватывает 2 атома, постоянная решётки графита a_0 = 0,246 нм. Следовательно, число узлов в отрываемом фрагменте плёнки равно $N = \frac{2(w^2)}{a_0^2}$. С учётом вышесказанного, преобразуем уравнение (4) к виду:

$$P_c = \frac{2E_{ad}^{mole}}{N_A a_0^2} \frac{1}{(h_0 + kh_1)} \quad (6)$$

Единственным варьируемом параметром в уравнении (6) является количество слоёв k, связанных с толщиной плёнки. Если знать энергию связи 1 моля плёнки и её толщину, можно вычислить давление отрыва.

Вывод. Данная теоретическая оценка в первом приближении позволяет определить эффективность действия металоплакирующих добавок к пластичным смазкам. При этом, как показывают результаты практических исследований и проверок трибопрепаратов, наполнителей, образование тонких пленок на поверхности трения сопряжено и зависит не только от усилия сдвига и нагрузок, но и критических температур, возникающих при определенных условиях работы механизма, времени работы смазки и от формирования пленки.

Под действием высоких температур происходит сглаживание микровыступов и заполнение микротрещин, когда температура в паре трения (на микроучастках) достигает температуры плавления металла. Создание пленки достаточно сложный процесс с. Установлены факты, когда под действием трибопрепарата температура в узле трения, заполненного смазкой с добавками на 15…20 ºС ниже чем в аналогичных условиях работы смазки без добавок и наполнителей. Снижение температуры в узле трения способствует замедлению окислительных процессов в смазке и продлению срока ее службы.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение.– Москва: Техинформ, 1999. 596 с.

2. Ищюк Ю.Л. Состав, структура и войства пластичных смазок. Киев: Наукова думка, 1996. 512 с.

3. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам. – М.: Химия. 1982. 248 с.

4. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов. – М.: Химия. 1991. 240 с.

5. Братков А.А. Теоретические основы химмотологии. – М.: Химия. 1985. 316 с.

6. Остриков В.В., Зимин А.Г., Попов С.Ю. Повышение эффективности действия ремонтно-восстановительных составов // Наука в центральной России. – 2013. –№ 5. – С. 30-35.

7. Сафонов В.В. Наноструктурные материалы в качестве компонентов смазочных композиций.– Саратов: СГАУ. 2006. 324 с.

8. Чалых А.Е. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий. - М.: Металлургия. 1972 – 432 с.

9. Зайцев О.С. Общая химия. Состояние веществ и химические реакции. М: Химия, 1990. С. 160.

10. Ordin S.V., Sharupin B.N. and Fedorov M.I., Semiconductors J. Normal lattice vibrations and the crystal structure of anisotropic modifications of boron nitride // FTP. – 1998. – 32(9). – P. 924—932.

11. Климчицкая Г.Л., Мостепаненко В.М. Успехи и проблемы в изучении сил Ван–дер–Ваальса и Казимира. // Труды Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. – 2015№. – 1(517). – С. 144-171.

References

1. SHkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie.– Moskva: Tekhinform, 1999. 596 s.
2. Ishchyuk YU.L. Sostav, struktura i vojstva plastichnyh smazok.Kiev:Naukova dumka, 1996. 512 s.
3. Fuks I.G. Dobavki k plastichnym smazkam. – M.: Himiya. 1982. 248 s.
4. Zaslavskij YU.S. Tribologiya smazochnyh materialov. - M.: Himiya. 1991. 240 s.
5. Bratkov A.A. Teoreticheskie osnovy himmotologii. – M.: Himiya. 1985. 316 s.
6. Ostrikov V.V., Zimin A.G., Popov S.YU. Povyshenie effektivnosti dejstviya remontno-vosstanovitel'nyh sostavov. //. Nauka v central'noj Rossii. – 2013. –№ 5. – S. 30-35.
7. Safonov V.V. Nanostrukturnye materialy v kachestve komponentov smazochnyh kompozicij– Saratov: SGAU. 2006. 324 s
8. CHalyh A.E. Tekhnologiya i oborudovanie elektrodnyh i elektrougol'nyh predpriyatij. - M.: Metallurgiya. 1972 – 432 s.
9. Zajcev O.S. Obshchaya himiya. Sostoyanie veshchestv i himicheskie reakcii. M: Himiya, 1990. S. 160.
10. Ordin S.V., Sharupin B.N. and Fedorov M.I., Semiconductors J. Normal lattice vibrations and the crystal structure of anisotropic modifications of boron nitride // FTP. – 1998. – 32(9). – P. 924—932.
11. Klimchickaya G.L., Mostepanenko V.M. Uspekhi i problemy v izuchenii sil Van–der– Vaal'sa i Kazimira. // Trudy Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta Petra Velikogo. – 2015№. – 1(517). – C. 144-171.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, доцент, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e -mail: viitinlab8@bk.ru

Вигдорович Михаил Владимирович – доктор физико-математических наук, директор Angara GmbH, Дюссельдорф, Германия, e-mail:dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственнго бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru.

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

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vigdorowitsch Michael – Full Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of Angara GmbH, Dusseldorf, Germany, e-mail:dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

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

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 12.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.06.2020

УДК 620.197
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-103-111

ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛЬФАОЛЕФИНОВОГО МАСЛА

[1]Князева Лариса Геннадьевна
[1]Дорохов Андрей Валерьевич
[2]Урядников Александр Алексеевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Реферат. *Изучали защитные свойства консервационных составов на основе полиальфаолефинового масла Mobil Devlac и ингибитора коррозии Эмульгин. Проводили электрохимические исследования и ускоренные коррозионные испытания. Показали, что масляные пленки не являются барьером для молекул воды, необходимых для протекания коррозионных процессов на поверхности металла. На вязкостно-температурных кривых масла Mobil Devlac имеется излом с температурой, близкой к 60 ^{0}С, связанный с наличием в нем пакета поверхностно-активных веществ. Определили защитную эффективность неингибированного масла, которая составила ~ 40 % при электрохимических исследованиях и гравиметрических в 0,5 М растворе NaCl или ~ 80 % при исследованиях в термовлагокамере Г-4. Установили, что оптимальной концентрацией Эмульгина для получения максимального защитного эффекта ингибированного масла Mobil Devlac в лабораторных условиях является 5-7 масс.%. Для консервации сельскохозяйственной техники рекомендована концентрация Эмульгина не менее 15 масс.%. Методом поляризационного сопротивления показали, что вклад за счет ингибитора в общую защитную эффективность лежит в диапазоне 5 - 45 %, в зависимости от концентрации Эмульгина. Вклад в общую суммарную защитную эффективность поверхностной оксидной пленки может возрастать во времени до ~ 40 %, а ингибирующее действие Mobil Devlac, при этом, падать на 10 – 12 %. Определена интегральная эффективность масляного покрытия (95%), после достижения стационарного состояния за первые сутки.*

Ключевые слова*: полиальфаолефиновые масла, метод поляризационного сопротивления, поверхностные оксидные образования, ингибитор коррозии, Эмульгин, суммарная защитная эффективность*

ANTI-CORROSION PROPERTIES OF COATINGS BASED ON POLYALPHAOLEFIN OIL

[1]Knyazeva Larisa
[1]Dorohov Andrey
[2]Uryadnikov Alexander
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"

Abstract. *The protective properties of conservation formulations based on Mobil Devlac polyalphaolefin oil and Emulgin corrosion inhibitor were studied. Electrochemical studies and accelerated corrosion tests were performed. It was shown that oil films are not a barrier to water molecules necessary for corrosion processes to occur on the metal surface.It was shown that oil films are not a barrier to water molecules, necessary for the occurrence of corrosion processes on the metal surface. A kink with a temperature close to 60 0C associated with the presence of a package of surfactants is available on the viscosity-temperature curves of Mobil Devlac oil. The protective effectiveness of uninhibited oil was determined, which was ~ 40% during electrochemical studies and gravimetric in a 0.5 M NaCl solution or ~ 80% during studies in a G-4 thermal moisture chamber. It was*

found that the optimal concentration of Emulgin to obtain the maximum protective effect of the inhibited Mobil Devlac oil under laboratory conditions is 5-7 wt.%. Emulgin concentration of at least 15 wt.% was recommended for the conservation of agricultural machinery. Using the polarization resistance method, it was shown that the contribution due to the inhibitor to the overall protective effectiveness lies in the range of 5–45%, depending on the concentration of Emulgin. The contribution to the common total protective effectiveness of the surface oxide film can increase in time up to ~ 40%, and the inhibitory effect of Mobil Devlac, at the same time, can fall by 10 - 12%. The integrated efficiency of the oil coating (95%) was determined after reaching a steady state in the first day.

Keywords: *polyalphaolefin oils, polarization resistance method, surface oxide formations, corrosion inhibitor, Emulgin, total protective effectiveness*

Введение. Для защиты сельскохозяйственной техники в АПК широко применяют покрытия на любой масляной основе [1-9]. В качестве растворителя-основы могут быть использованы синтетические масла. Синтетические масла различны по своей природе, одними из самых распространенных считаются полиальфаолефиновые (ПАОМ) [10]. В России сегодня потребление ПАОМ в виде базовых и товарных масел составляет почти половину от мирового производства [11, 12]. Эти масла отличаются рядом преимуществ над минеральными: четким составом и его однородностью, малой летучестью и коксуемостью, высокой термостабильностью и стойкостью к окислению, возможностью использования в широком диапазоне температур, более высокими антикоррозионными свойствами. Но антикорррозионных свойств синтетических масел, тем не менее обычно недостаточно, чтобы использовать их непосредственно в качестве защиты от атмосферной коррозии, поэтому в данной работе исследуются защитные свойства составов на основе масла Mobil Devlac и ингибитора коррозии Эмульгин, причем оцениваются вклады отдельных компонентов в общую защитную эффективность.

Методика эксперимента. Для экспериментальных исследований использовали образцы углеродистой стали Ст3, нанося на них пленки из полиальфаолефинового масла толщиной 15±2 мкм. Изучали противокоррозионные материалы на основе масла Mobil Devlac и ингибитора коррозии Эмульгин, в состав которого входит смесь первичных и вторичных алифатических аминов [13]. Влагопроницаемость пленок полиальфаолефиновых масел определяли по методике, описанной в [14]. Кинематическую вязкость композиций измеряли вискозиметром типа ВПЖ с точностью термостатирования ± 1^0С (ГОСТ 33-82). Поляризационные исследования проводили по методике, приведенной в [15]. Для оценки вкладов компонентов в общую защитную эффективность системы использовали метод поляризационного сопротивления [16, 17].

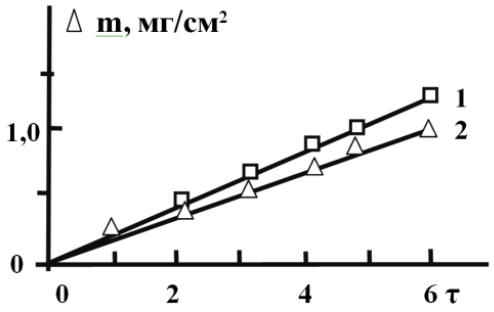
Оценку суммарной защитной эффективности и вклада в нее отдельных компонентов проводили по стандартному уравнению:

$$Z = 100[(K_0 - K_i)/K_0], \quad (1)$$

где K_0 и K_i – соответственно, контрольная и скорость коррозии изучаемого компонента.

Результаты и их обсуждение. Известно, что коррозионные процессы на стали протекают с участием молекул воды. Исследования показали, что вода легко проходит через пленки синтетического масла Mobil Devlac, нанесенные на перфорированные крышки, что фиксируется приростом массы влагопоглотителя (рисунок 1) к поверхности углеродистой стали, что может вызывать коррозию металла. Чем выше относительная влажность воздуха, тем выше влагопроницаемость масляных пленок, как следует из кривых, приведенных на рисунке 1. Таким образом, пленки синтетического масла не являются барьером для подачи к поверхности металла молекул воды, которые непосредственно участвуют в разрушении самопроизвольно образующихся на поверхности металла первичных оксидных слоев, в протекании анодного и катодного процессов при электрохимической коррозии.

На рисунке 2 показана вязкостно-температурная зависимость для масла Mobil Devlac в полулогарифмических координатах. Полулогарифмические координаты, чувствительные к выявлению характера зависимости ν от температуры, позволяют увидеть излом на вязкостно-температурных кривых с температурой, близкой к 60 ^{0}С. Его возникновение, очевидно вызвано наличием пакета поверхностно-активных веществ в синтетическом масле, обеспечивающих, в том числе, и некоторую его защитную эффективность.



Относительная влажность воздуха 100 % (1) и 70 % (2)

Рисунок 1 – Привес цеолита Δm (мг/см^2) от времени τ (ч) выдерживания покрытий Mobil Devlac на поверхности перфорированных крышек ячеек

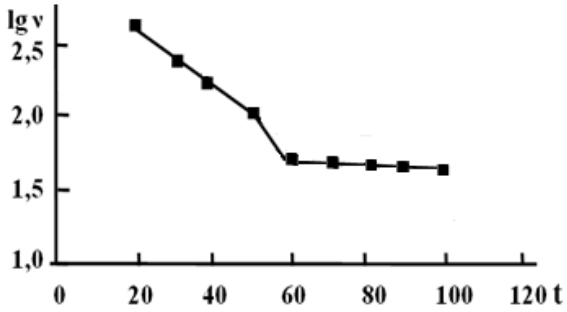
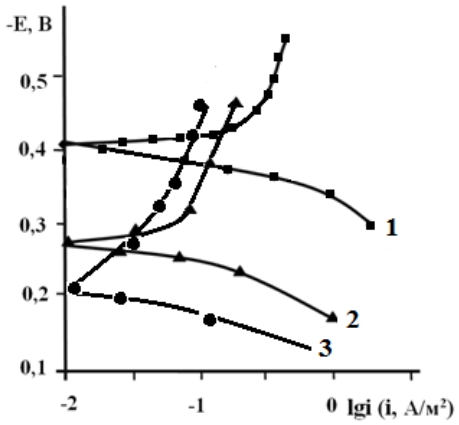


Рисунок 2 – Зависимость логарифма кинематической вязкости (ν, мм^2/с) масла Mobil Devlac от температуры t (^{0}C).

На рисунке 3 показаны поляризационные кривые с протяженным тафелевским участком с наклоном 0,065 ± 0,005 В (рисунок 3, кривая 1´) на анодной поляризационной кривой незащищенной стали, что указывает на ее активное растворение и не противоречит литературным данным для этого металла.



1-покрытие отсутствует; 2- Mobil Devlac; 3 - Mobil Devlac, ингибированный 5 масс.% Эмульгина. Комнатная температура, воздушная атмосфера, неподвижный электрод

Рисунок 3 – Поляризационные кривые на стали Ст3в 0,5 М NaCl:

Нанесение пленки Mobil Devlac на поверхность стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl затормаживает анодную реакцию (рисунок 3, кривая 1), ускоряет катодную, предельный катодный ток при этом снижается. Ингибирование синтетического масла Эмульгином облагораживает потенциал и снижает ток коррозии (рисунок 3, кривая 3), уменьшая, соответственно, скорость коррозии, защитная эффективность при этом возрастает (таблица 1). Такая тенденция сохраняется при ускоренных гравиметрических испытаниях в 0,5 М растворе NaCl (таблица 1). Данные, приведенные на рисунке 4 свидетельствуют о том, что оптимальной концентрацией Эмульгина при гравиметрических испытаниях является 5 масс.%, дальнейший ее рост с точки зрения защитного эффекта, не имеет смысла. Но при натурно-стендовых испытаниях такой концентрации ингибитора оказалось недостаточно для эффективной защиты (таблица 2). В реальных условиях концентрации сельскохозяйственной техники, нужно использовать концентрацию Эмульгина не менее 15 масс. %.

Таким образом, упомянутыми выше методами исследования можно найти оптимальные концентрации ингибитора в масле для получения желательного защитного эффекта.

Таблица 1 – Защитные свойства консервационных материалов на основе Mobil Devlac

Покрытие	Измерения					
	Поляризационные		Гравиметрические			
	0,5 М раствор NaCl		0,5 М NaCl 14 суток		Термовлагокамера Г-4	
	$K_{э/х}$ 10^{-4},г/м^2·ч	Z,%	К, г/м^2·ч	Z, %	К, г/м^2·ч	Z, %
Mobil Devlac	3,41	38	0,025	43	0,0153	83
Mobil Devlac + 5 масс % Эмульгина	1,93	65	0,0002	~ 100	0,0001	~ 100
Отсутствует	5,50	–	0,046	–	0,090	–

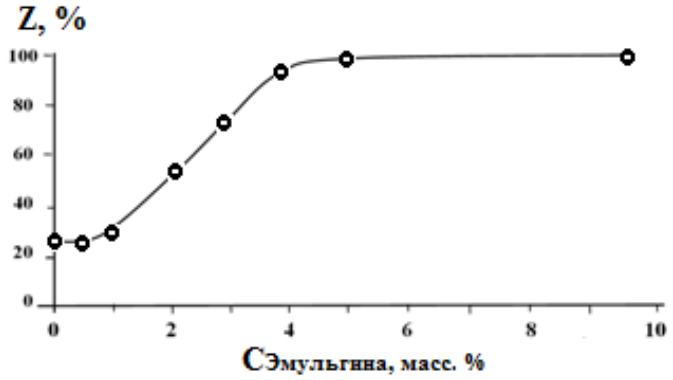


Рисунок 4 – Зависимость защитной эффективности масла Mobil Devlac от концентрации в нем Эмульгина

Таблица 2 – Результаты натурно-стендовых испытаний составов

Состав	Продолжительность испытаний					
	3 месяца		7 месяцев		9 месяцев	
	К, г/м^2·ч	Z	К, г/м^2·ч	Z	К, г/м^2·ч	Z
Контроль	0,010	-	0,0065	-	0,0071	-
Mobil Devlac	0,005	49	0,0040	38	0,0049	31
Mobil Devlac + 5% Эмульгина	0,0008	92	0,0014	79	0,0030	58
Mobil Devlac + 10% Эмульгина	0,0001	99	0,0003	95	0,0010	86
Mobil Devlac + 15% Эмульгина	~ 0	~ 100	~ 0	~ 100	~ 0	~ 100

На рисунке 5 показаны кривые скорости коррозии стали Ст3, под плёнкой масла Mobil Devlac с различной концентрацией Эмульгина, полученные методом поляризационного сопротивления. Скорости коррозии стали для начальных точек кривых (точки A_i кривых, рисунок 5) получены через 0,25 часов после погружения электрода в раствор.

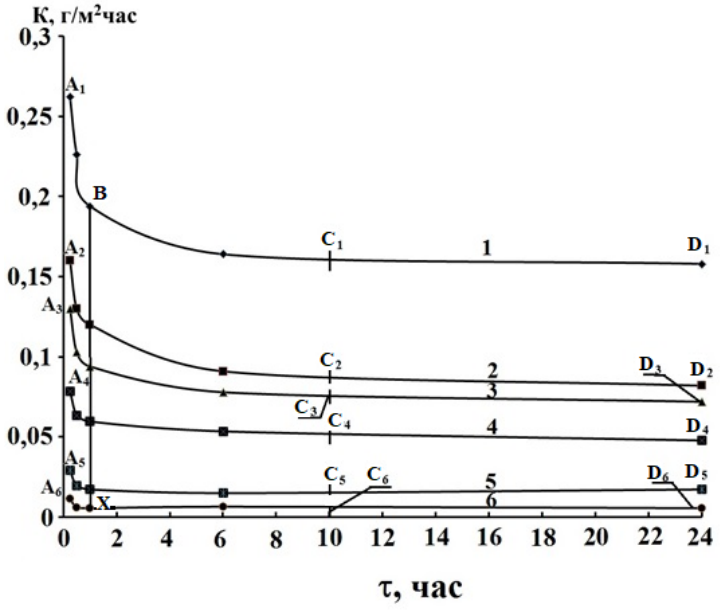


Рисунок 5 – Кривые скорости коррозии стали Ст3 в 0,5М NaCl под пленкой масла Mobil Devlac с концентрацией Эмульгина, %: 1 – без плёнки, 2 – отсутствует, 3 – 1; 4 – 3; 5 – 5; 6 – 10.

Все полученные кривые подобны и проходят почти параллельно. На начальных участках до линии ВХ на рисунке 5, при всех концентрациях Эмульгина скорость коррозии стали резко падает, что можно объяснить самопроизвольной перестройкой под действием окружающей среды структуры первоначально существующей на поверхности металла воздушно - оксидной плёнки с собственным защитным действием. Так как кривые идут почти параллельно можно признать несущественным влияние на процесс изменения поверхностных оксидных образований на металле масляной пленки и концентрация в ней Эмульгина. На участках BC_i (рисунок 5) скорость коррозии практически достигает постоянного значения или стремится к нему, величина $dK/d\tau$ мала, следовательно, практически достигается стационарное состояние, которое характеризуется существенно большим защитным эффектом, чем у исходных воздушно-оксидных пленок на поверхности углеродистой стали.

Определить защитный эффект поверхностных оксидных образований к моменту, соответствующему точке C_1, можно по уравнению [17, 18]:

$$Z_1 = (K_{A1} - K_{C1})/K_{A1} \quad (2)$$

Для участка C_iD_i кривых для изменения во времени скорости коррозии характерно значение $dK/d\tau$, стремящееся к 0.

Выше уже было показано по результатам поляризационных и ускоренных коррозионных испытаний, что полиальфаолефиновое масло Mobil Devlac обладает собственной защитной эффективностью, причем достаточно существенной, следовательно, не является индифферентным растворителем-основой. К сожалению, полученные данные не позволяют судить о том, какие составляющие масла Mobil Devlac, имеющего в составе целый пакет заводских присадок, определяют его защитную эффективность.

Анализ кривой 2 на рисунке 5 также показывает, что благодаря полиальфаолефиновому маслу скорость коррозии на участке A_2C_2 снижается. Уравнение (3) описывает защитную эффективность ко времени C_2

$$Z_2 = (K_{C2} - K_{C1})/K_{A1} \quad (3)$$

Ингибирование масла Mobil Devlac Эмульгином (рисунок 5, кривые 3-6) этот параметр усиливает, причем он возрастает с ростом концентрации Эмульгина.

Защитную эффективность от введения 1 масс.% Эмульгина в масло Mobil Devlac (точка C_3) определяем из уравнения (4)

$$Z_3 = (K_{C2} - K_{C3})/K_{A1} \quad (4)$$

Аналогично, для масляных составов с концентрациями Эмульгина 3,5 и 10 масс. % получаем уравнения (5-7) для защитного эффекта:

$$Z_4 = (K_{C2} - K_{C4})/K_{A1} \quad (5)$$

$$Z_5 = (K_{C2} - K_{C5})/K_{A1} \quad (6)$$

$$Z_6 = (K_{C2} - K_{C6})/K_{A1} \quad (7)$$

Общая защитная эффективность от действия пленки ингибированного масла Mobil Devlac будет складываться из защитной эффективности компонентов : поверхностных оксидных пленок (Z_1); неингибированного масла (Z_2) и ингибитора коррозии, в зависимости от его концентрации (Z_3 – Z_6) (рисунок 6)

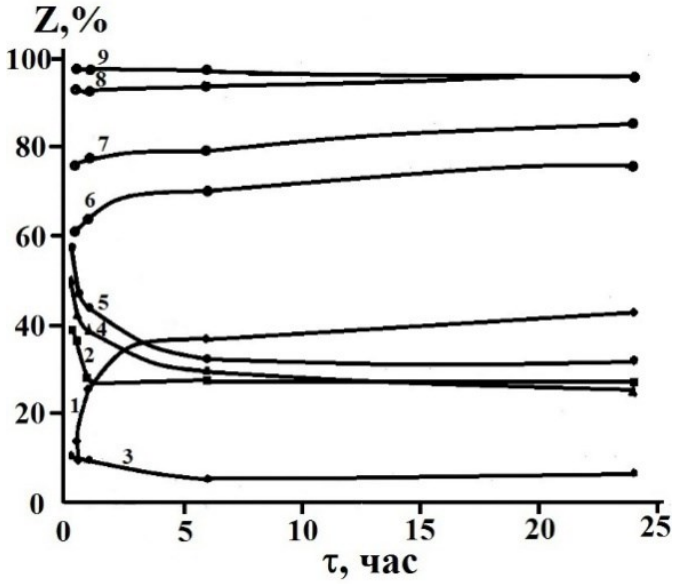


Рисунок 6 – Изменение защитного эффекта во времени для компонентов покрытия на основе полиальфаолефинового масла: поверхностных оксидных образований (1), Mobil Devlac (2), Эмульгина (3-5) при его концентрации в %: 3 – 1, 4 – 5, 5 – 10. Кривые, характеризующие суммарное защитное действие всех компонентов в присутствии Эмульгина в масляной плёнке, %: 6 – 1, 7 – 3, 8 – 5 и 9 – 10.

Защитная эффективность поверхностных оксидных образований в отсутствие плёнки масла Mobil Devlac возрастает во времени (рисунок 6, кривая 1) до постоянного значения Z ~ 40 %. Защитная эффективность других компонентов (масла и ингибитора) падает, например, для масла с 40 до 28 % (рисунок 6, кривая 2). Суммарная защитная эффективность исследуемой системы возрастает с увеличением концентрации Эмульгина, причем наибольший рост наблюдается при увеличении концентрации ингибитора с 1 до 5 %. Возрастание вклада Эмульгина в суммарную защитную эффективность (от 5 до ~ 45 %) зависит от его концентрации, что подтверждают данные, приведенные на рисунке 7. Кривые, снятые через 1час и через сутки подобны. Максимальный вклад в защитную эффективность обеспечивается при концентрации Эмульгина 7 – 10 %, причем при измерениях через сутки величина достигаемой максимальной защитной эффективности ~ на 15 % ниже, чем при измерениях через час. Это связано с особенностями формирования покрытия и его свойствами в растворах электролита.

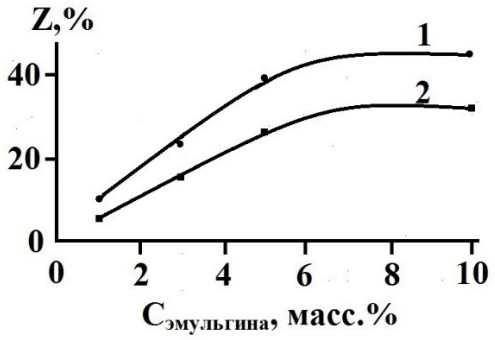


Рисунок 7 – Зависимость защитного эффекта ингибированного масла Mobil Devlac от концентрации Эмульгина через 1 (1) и 24 ч (2) от начала коррозии стали

Данные, полученные методом поляризационного сопротивления не противоречат результатам поляризационных и гравиметрических испытаний. Суммарное защитное действие ингибированного полиальфаолефинового масла Mobil Devlac достигает 95 %.

Выводы

1. По электрохимическим и ускоренным коррозионным испытаниям оптимальной концентрацией Эмульгина для получения максимального защитного эффекта ингибированного масла Mobil Devlac в лабораторных условиях является 5 масс.%. По натурно-стендовым испытаниям концентрация Эмульгина должна быть не менее 15 масс.%, именно такая концентрация ингибитора должна быть рекомендована для консервации сельскохозяйственной техники в нерабочий период.

2. Метод поляризационного сопротивления позволяет увидеть отдельно вклад в общую защитную эффективность всех составляющих: поверхностных оксидных образований, растворителя - основы (полиальфаолефиновое масло Mobil Devlac) и ингибитора коррозии (Эмульгин). Вклад за счет ингибитора в общую защитную эффективность лежит в диапазоне 5 - 45 %, в зависимости от концентрации Эмульгина. Вклад в общую суммарную защитную эффективность поверхностной оксидной пленки может возрастать во времени до ~ 40 %, а ингибирующее действие Mobil Devlac, при этом, падать на 10 – 12 %. Интегральная эффективность защитных систем, включающих поверхностные оксидные образования, за первые сутки, когда достигается стационарное состояние, может составить 95 %.

Список литературы

1. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Зазуля А.Н., Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Сохраняемость и противокоррозионная защита техники в сельском хозяйстве.- Москва, 2009.

2. Vigdorovich V.I., Safronova N.V., Prokhorenkov V.D., Boldyrev A.V., Avanesova K.M. Anticorrosive properties and Thickening Capability of a TVK-1 Oil-soluble Additive // Защита металлов. – 1995. – Т. 31. – № 6. – С. 634-639.

3. Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Доступные противокоррозионные материалы для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Практика противокоррозионной защиты. – 2003. – № 3 (29). – С. 51-54.

4. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами // Труды ГОСНИТИ. – 2013. Т. 112. – № 2. – С. 61-65.

5. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Кузнецова Е.Г., Урядников А.А., Остриков В.В., Зазуля А.Н. Антикоррозионная эффективность пленок нефтяных и синтетических масел и их физико-химические характеристики // Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 9. – С. 35-41.

6. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Bernatsky P.N. Oil-based Preservative Materials for Protection of Copper against Corrosion in Atmospheres Containing SO_2 // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2015. – Т. 4. – № 3. – С. 210-220.

7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Kuznetsova E.G., Tsygankova L.E., Uryadnikov A.A., Shel' N.V. Kinetics and Mechanism of Electrode Reactions in Corrosion of Some Metals Covered with Oil Films in Acid and Neutral Chloride Environments // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2016. – T. 52. – № 7. – C. 1157-1165.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Tanygina E.D., Tanygin A.Yu., Shel N.V. New Conservation Materials on the Base of Colza Oil for the Steel Protection Against Atmospheric corrosion // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 3. – C. 48-52.

9. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – T. 55. – № 4. – C. 412 - 423.

10. Цветков О.Н. Поли–α–олефиновые масла: химия, технология, применение. М.: Техника Тума–групп, 2006. 192 с.

11. Черемискин А.Л. Исследование и разработка процесса синтеза поли -а- олефинов в проточных условиях: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 02.00.13 / А. Л. Черемискин; ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти – ОАО ВНИИ НП».- Москва, 2012. - 22 с.

12. Про настоящие синтетические масла на полиальфаолефинах (ПАО) [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.drive2.ru/b/1880151/Дата обращения 01.06.2020.

13. Авторское свидетельство № 1385607. Противокоррозионная присадка «Эмульгин» к маслам; заявл. 18.02.1986, зарегистрировано 01.12.1987.

14. Вигдорович В.И., Шель Н.В., Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Остриков В.В. Проницаемость масляных пленок молекулами воды, оксида серы (IV) и кислорода // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2018. – № 10. – С. 19-24.

15. Князева Л.Г. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья / диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / ГОУВПО «Тамбовский государственный технический университет». Тамбов, 2012.

16. Вигдорович В.И., Закурнаев С.А. Оценка вкладов полисульфидной плёнки и ингибитора в защиту стали от сероводородной коррозии // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – №2. – С. 17-22.

17. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Федотова Л.И. Оценка парциальных вкладов защитной фазовой плёнки и ингибитора в торможение коррозии металлов // Практика противокоррозионной защиты. – 2010. – №1 (55). – С. 55 – 62.

References

1. CHernoivanov V.I., Severnyj A.E., Zazulya A.N., Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G. Sohranyaemost' i protivokorrozionnaya zashchita tekhniki v sel'skom hozyajstve.- Moskva, 2009.

2. Vigdorovich V.I., Safronova N.V., Prokhorenkov V.D., Boldyrev A.V., Avanesova K.M. Anticorrosive properties and Thickening Capability of a TVK-1 Oil-soluble Additive // Zashchita metallov. – 1995. – T. 31. – № 6. – S. 634-639.

3. Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G. Dostupnye protivokorrozionnye materialy dlya zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot atmosfernoj korrozii // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2003. – № 3 (29). – S. 51-54.

4. Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V. Tekhnologicheskie resheniya po konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki otrabotannymi motornymi maslami // Trudy GOSNITI. – 2013. T. 112. – № 2. – S. 61-65.

5. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., SHel' N.V., Kuznecova E.G., Uryadnikov A.A., Ostrikov V.V., Zazulya A.N. Antikorrozionnaya effektivnost' plenok neftyanyh i sinteticheskih masel i ih fiziko-himicheskie harakteristiki // Korroziya: materialy, zashchita. – 2014. – № 9. – S. 35-41.

6. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Bernatsky P.N. Oil-based Preservative Materials for Protection of Copper against Corrosion in Atmospheres Containing SO2 // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2015. – T. 4. – № 3. – S. 210-220

7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Kuznetsova E.G., Tsygankova L.E., Uryadnikov A.A., Shel' N.V. Kinetics and Mechanism of Electrode Reactions in Corrosion of Some Metals Covered with Oil Films in Acid and Neutral Chloride Environments // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2016. – T. 52. – № 7. – S. 1157-1165.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Tanygina E.D., Tanygin A.Yu., Shel N.V. New Conservation Materials on the Base of Colza Oil for the Steel Protection Against Atmospheric corrosion // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 3. – S. 48-52.

9. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – T. 55. – № 4. – S. 412 - 423.

10. Cvetkov O.N. Poli–□–olefinovye masla: himiya, tekhnologiya, primenenie. M.: Tekhnika Tuma–grupp, 2006. 192 s.

11. CHeremiskin A.L. Issledovanie i razrabotka processa sinteza poli -a- olefinov v protochnyh usloviyah: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskih nauk: 02.00.13 / A. L. CHeremiskin; OAO «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po pererabotke nefti – OAO VNII NP».- Moskva, 2012. - 22 s.

12. Pro nastoyashchie sinteticheskie masla na polial'faolefinah (PAO) [Elektronnyj resurs] // Rezhim dostupa : https://www.drive2.ru/b/1880151/Data obrashcheniya 01.06.2020.

13. Avtorskoe svidetel'stvo № 1385607. Protivokorrozionnaya prisadka «Emul'gin» k maslam; zayavl. 18.02.1986, zaregistrirovano 01.12.1987.

14. Vigdorovich V.I., SHel' N.V., Knyazeva L.G., Cygankova L.E., Ostrikov V.V. Pronicaemost' maslyanyh plenok molekulami vody, oksida sery (IV) i kisloroda // Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik. – 2018. – № 10. – S. 19-24.

15. Knyazeva L.G. Nauchnye osnovy sozdaniya antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotavshih neftyanyh masel i rastitel'nogo syr'ya / dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk / GOUVPO "Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet". Tambov, 2012.

16. Vigdorovich V.I., Zakurnaev S.A. Ocenka vkladov polisul'fidnoj plyonki i ingibitora v zashchitu stali ot serovodorodnoj korrozii // Korroziya: materialy, zashchita. – 2009. – №2. – S. 17-22.

17. Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Fedotova L.I. Ocenka parcial'nyh vkladov zashchitnoj fazovoj plyonki i ingibitora v tormozhenie korrozii metallov // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2010. – №1 (55). – S. 55 – 62.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Дорохов Андрей Валерьевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Урядников Александр Алексеевич – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: chemisttambov@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Dorokhov Andrey – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Uryadnikov Alexander – Candidate of Chemical Sciences Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State University named after G.R. Derzhavin”, Russia, Tambov, e-mail: chemisttambov@mail.ru.

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ (проект № 18-16-00006)

Поступила в редакцию (Received): 12.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.06.2020

УДК [629.114.2+629.113].004.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-112-121

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

[1]Нагорнов Станислав Александрович
[1]Корнев Алексей Юрьевич
[1,2]Романцова Светлана Валерьевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»

Реферат. *Проведен анализ отечественного и зарубежного производства продукции растениеводства в разных странах. Установлено, что высокая урожайность достигается за счет повышения общей культуры земледелия, увеличения объема органических и минеральных удобрений, а также средств для защиты растений. Выявлено, что эти факторы непосредственно связаны с повышением плотности механизированных работ, а, следовательно, и с неуклонным ростом потребления моторного топлива. Показана прямая взаимосвязь между ускорением технического прогресса и увеличением потребления различных форм энергии. Найдено, что существующие способы повышения эффективности сельхозпроизводства основываются на варьировании и регулировании количественного соотношения входящих в него основных агроресурсов: земли, труда и капитала. Детальный анализ рассматриваемой динамической производственной системы показал, что в конечном итоге решающую роль играют только затраты и энергия. Поскольку энергия, в частности, моторное топливо, является невосполнимым потенциалом, то именно от ее потребления будут зависеть темпы роста объема производства сельхозпродукции. Пропорциональное сочетание темпов приобретения мобильной энергетики с темпами ее обеспечения моторным топливом обусловливает экономический рост агропромышленного производства. Несоблюдение этого принципа приводит к замораживанию энергетического потенциала, увеличению издержек производства, снижению экономической эффективности и уменьшению роста валовой продукции сельхозтоваропроизводителей. Показано, что применение известных на современном уровне развития науки и техники мер интенсификации производства продукции растениеводства приводит к существенному росту антропогенной энергии, в первую очередь моторного топлива на единицу сельхозпродукции. Определено, что применение интенсивных технологий выращивания продукции растениеводства приводит к росту (на 20-30 % больше, чем при экстенсивной технологии) моторного топлива. Во всех климатических зонах России каждый 1 % увеличения объемов производства сельхозпродукции требует 2-3 % дополнительного расхода топлива. Увеличивающаяся зависимость сельского хозяйства от всевозрастающей потребности в моторном топливе требует коренного пересмотра традиционного подхода к использованию светлых нефтепродуктов. В статье обозначены основные пути повышения эффективности использования моторного топлива в АПК России.*

Ключевые слова. *Моторное топливо, экстенсивная технология, интенсивная технология, дизельный двигатель, растениеводство, нефтесклад.*

WAYS TO INCREASE EFFICIENCY OF USING OF LIGHT OIL PRODUCTS IN AGRICULTURE

[1]Nagornov Stanislav
[1]Kornev Alexey
[1,2]Romantsova Svetlana
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"

Abstract. *The analysis of domestic and foreign crop production in different countries was carried out. It was found that high yields are achieved by increasing the overall crop culture, increasing the volume of organic and mineral fertilizers, as well as plant protection products. It was revealed that these factors are directly related to an increase in the density of mechanized work, and, consequently, to a steady increase in motor fuel consumption. The direct relationship between the acceleration of technological progress and the increase in the consumption of various forms of energy is shown. It was found that existing methods of increasing the efficiency of agricultural production are based on varying and regulating the quantitative ratio of the main agricultural resources included in it: land, labor and capital. A detailed analysis of the dynamic production system under consideration showed that ultimately only costs and energy play a decisive role. Since energy, in particular motor fuel, is an irreplaceable potential, the growth rate of agricultural production will depend on its consumption.*

A proportional combination of the pace of the acquisition of mobile energy with the pace of its provision with motor fuel determines the economic growth of agricultural production. Failure to comply with this principle leads to a freezing of the energy potential, an increase in production costs, a decrease in economic efficiency and a decrease in the growth of gross output of agricultural producers. It is shown that the application of measures known at the current level of development of science and technology to intensify crop production leads to a significant increase in anthropogenic energy, primarily motor fuel per unit of agricultural production. It was determined that the use of intensive technologies for growing crop products leads to an increase (20-30% more than with extensive technology) of motor fuel. Each 1% increase in agricultural production requires 2-3% additional fuel consumption in all climatic zones of Russia. The increasing dependence of agriculture on the ever-increasing demand for motor fuel requires a radical revision of the traditional approach to the use of light petroleum products. The main ways to increase the efficiency of the use of motor fuel in the agricultural sector of Russia are indicated in the article.

Keywords: *motor fuel, extensive technology, intensive technology, diesel engine, crop production, oil depot.*

Введение. Одним из основных потребителей энергоресурсов является растениеводство. В нашей стране в дореформенный период, если исходить из средних уровней потребления энергоресурсов, для сельскохозяйственного производства характерным являлся быстрый рост энергозатрат при высокой энергоемкости производства товарной продукции. Энергоемкость сельхозпроизводства в расчете на 1 руб. валовой продукции (в ценах 1973 г.) в 1970-1985 гг. возросла на 54 % при росте абсолютного энергопотребления на 92 % [1].

В этот же период в продовольственном комплексе (ПК) США энергоемкость производства продукции сократилась на 26 %, а абсолютное энергопотребление снизилось на 18 % [2].

Следует отметить, что большинство опубликованных данных носит оценочный характер и простое сопоставление энергопотребления в сельском хозяйстве двух стран, расположенных в различных природных зонах и имеющих совершенно разную инфраструктуру и разный агроклиматический потенциал (в США в 2,5-3,0 раза выше, чем в нашей стране), может привести к неправильным выводам.

Технология производства продукции растениеводства состоит из трех главных составляющих: обработки почвы, вспомогательных видов работ и уборки урожая. Первая составляющая включает в себя все операции, связанные с воздействием рабочих органов машин на почву: лущение, вспашку, боронование, культивацию, сев. Вторая – внесение удобрений, транспортные работы. Третья – косовицу в валок, подбор и обмолот валков и прямое комбайнирование. На внесение удобрений, как активного фактора повышения урожайности, расходовалось от 37 (в Западной Европе) до 57 % (в Восточной Европе) энергии, потребляемой в растениеводстве.

В структуре энергозатрат при производстве зерновых культур в нашей стране прямые затраты энергии (в основном, дизельного топлива) не превышали 25%. Косвенные затраты включали свыше 60 % на применение минеральных удобрений и ядохимикатов, а 15 % энергозатрат приходилось на металл. Выпускаемые отечественные энергетические средства и рабочие машины существенно уступают зарубежным по удельной металлоемкости. В частности, у отечественных тракторов мощностью 80-300 л.с. этот показатель на 10-15 % выше, чем в США и Канаде, у зерноуборочных комбайнов – на 30-40 %, у отвальных плугов на 5-10 %, у зернотуковых стерневых сеялок на 20-50 % [3 – 5].

В общих расходах на приобретение энергоресурсов моторное топливо в конце 90-х годов заняло более половины (53 % против 2,7 % в 1985 г.). В то же время в ПК США доля затрат на нефтепродукты в структуре общих затрат неуклонно сокращается (с 5,9 % в 1980 г. до 3,4 % в 1988 г.). Указанные пропорции носят для отечественного растениеводства отрицательный характер. Структура потребления светлых нефтепродуктов по технологическим процессам в растениеводстве нашей страны и США (по данным за 1985 г.) выглядит в процентном отношении примерно одинаковой (таблица 1).

Таблица 1 – Технологическая структура потребления светлых нефтепродуктов

Технологические процессы	Россия		США	
	млн. т	%	млн. т	%
Полевые операции	24,6	40,0	9,4	44,5
Транспорт	23,1	37,6	8,3	39,3
В т.ч. *автогрузоперевозки*	16,4	26,7	5,2	24,6
Прочее	13,8	22,4	3,4	13,2
Итого:	61,5	100,0	21,1	100,0

Большая разница в абсолютном потреблении светлых нефтепродуктов в нашей стране и в ПК США на полевых и транспортных работах обусловлена несовершенством отечественной автотракторной техники и технологическими операциями производства продукции растениеводства. Согласно статистическим данным суммарные затраты автомобильного бензина и дизельного топлива в нашей стране за 1970-1987 гг. возросли на 68 %, а в США – снизились на 22 % [4 – 6]. Удельные затраты моторного топлива в расчете на 1 га посевной площади в нашей стране выше, чем в США (таблица 2).

Таблица 2 – Расход топлива в расчете на гектар пашни

Страны	Расход топлива		Удельный расход топлива в расчете на 1 га пашни	
	Дизельное топливо, млн. т	Автомобильный бензин, млн. т	Дизельное топливо, кг/га	Автомобильный бензин, кг/га
Россия	36,7	23,5	171,2	109,6
США	9,9	7,8	59,3	46,7

Указанные диспропорции объясняются рядом факторов: технических, географических и организационных. В частности, в отечественном сельском хозяйстве в целом было задействовано в 1,5 раза меньше тракторов и в 2 раза меньше грузовых автомобилей, чем в США. В то же время продолжительность использования, например, тракторов в течение года в нашей стране выше, чем в США в 2 раза. Тракторы в США снабжены более экономичными двигателями. У лучших отечественных образцов фактический удельный расход дизельного топлива в среднем на 16 – 17 % выше, чем у зарубежных. В фермерских хозяйствах США наблюдается лучшая укомплектованность тракторов машинами и орудиями и, что также весьма важно, – широкое использование компьютерной техники позволяет существенно оптимизировать необходимые перемещения. По различным оценкам, агроклиматический потенциал отечественного сельского хозяйства в 2,5-3,0 раза ниже, чем в США. В то же время выход валовой сельхозпродукции с гектара посевных угодий у нас в 2 – 10 раз ниже. Главная роль в потреблении моторного топлива и негативного воздействия на окружающую среду принадлежит машинно-тракторному парку (МТП). За период 1965-1985 годы мощности двигателей тракторов и сельхозмашин в СССР возросли почти в 3 раза, а в ПК США всего на 29,4 %.

Естественно, что опережающий рост численности и мощности парка тракторов и сельхозмашин в отечественном сельском хозяйстве по сравнению с ПК США вызвал необходимость повышения расхода моторного топлива, хотя и не в адекватных пропорциях. У отечественных тракторов выпуска 1980-1985 гг. по техническим условиям удельный расход топлива снижен до 175 – 180 г/л.с.·ч, тогда как у лучших зарубежных аналогов – до 160 – 165

г/л.с.·ч, т.е. разница составляла 15 – 20 г/л.с.·ч. Фактический удельный расход топлива у двигателей отечественных и лучших зарубежных тракторов равен соответственно 185 – 200 против 162 – 168 г/л.с.·ч. За счет повышенного удельного расхода топлива двигателями тракторов типа К-701 и МТЗ-82 по сравнению с зарубежными аналогами в 1985 г. перерасход дизтоплива в сельском хозяйстве страны составил как минимум 1,4 млн т. Если же привести фактический удельный расход топлива до технического уровня 170 – 175 г/л.с.·ч, то при действующем парке тракторов и других самоходных сельхозмашин можно было бы сэкономить 2,5 – 3,5 млн т дизельного топлива.

Рост энергетических мощностей в сельском хозяйстве страны во многом обусловлен наращиванием поставок мощных тяжелых тракторов типа К-700А, К-701 и Т-150К. Эти тракторы имеют часовой расход топлива в 1,5 – 2,0 раза выше, чем другие типы сельскохозяйственных тракторов, однако более высокий расход топлива мощными тракторами не компенсировался повышением их производительности. Главная причина этого заключалась в недостатке шлейфа орудий и машин, поскольку важным резервом снижения расхода нефтепродуктов является оптимизация шлейфа машин и орудий к тракторному парку [7, 8].

В ПК США на каждые 100 тракторов приходилось больше плугов, косилок, прессподборщиков и другой техники, т.е. парк тракторов лучше укомплектован машинами и орудиями, чем отечественное сельское хозяйство. Из необходимой номенклатуры машин и орудий для тракторов этого класса наша промышленность выпускала не более 50 %. По самым скромным подсчетам из-за неукомплектованности парка мощных тяжелых тракторов шлейфом орудий и машин ежегодный перерасход дизельного топлива в отечественном сельском хозяйстве составлял не менее 0,5 млн т.

Все вышеперечисленное свидетельствует о традиционной неизменности технологий, отсутствии адаптации к конкретным условиям, низкой их эффективности. Поэтому проблема сокращения потребления энергоресурсов, в частности, моторного топлива аграрным сектором России является весьма актуальной. Задача снижения энергоемкости технологических процессов и энергопотребления уже длительное время носит концептуальный характер, но существенных результатов на этом пути достичь до сих пор не удается, поскольку нельзя получить реальной отдачи от существующих и вновь разрабатываемых рекомендаций по энергосбережению без поиска кардинальных решений этой проблемы, отвечающих требованиям современного состояния экономики сельхозтоваропроизводителей. Научно обоснованное раскрытие резервов эффективности использования требует глубокой методической проработки этого противоречия. Поэтому создание методологии оценок эффективности использования техники и нефтепродуктов в условиях реальной эксплуатации и ее развитие является базовым направлением исследований ФГБНУ ВНИИТиН.

Цель исследований – анализ технических решений, направленных на рациональное применение моторных топлив в растениеводстве, и выявление основных научно обоснованных путей повышения эффективности их использования на перспективу.

Материалы и методы. При исследовании факторов, обуславливающих эффективность использования моторных топлив в растениеводстве, использованы информационные методы исследования: аналитические, статистические, сравнительные и информационно-логические методы обработки и анализа исходной информации, методы системного подхода.

Результаты и их обсуждение. Изменение экономических условий развития отечественного сельского хозяйства потребовало смены технологических задач и характера научно-технического прогресса, а также внесение корректировок в научные приоритеты. Системный подход существенно расширяет концептуальную, методологическую, аналитическую и прогнозную, т.е. научную базу предлагаемой концепции, позволяя выявить и создать основу для своеобразного симбиоза между природными, ресурсными, биологическими, техногенными, социально-экономическими и экологическими факторами и определить возможности, ограничения и приоритеты дальнейшего развития и преобразования. Сложилось мнение, что продуктивность посевов зависит от знаний по физиологии растений, метеорологии и агрономии. Однако многолетний опыт исследований нашего института показывает, что недобор урожая на треть определяется уровнем качества технологических процессов: только на 55 % реализуется потенциал семенного материала зерновых культур. Реализация этого резерва требует создания

специальных технических средств управления качеством технологических процессов, технологий подготовки техники к работе и контроля качества технологических операций.

Проанализируем основные пути повышения эффективности использования моторного топлива применительно к производству продукции растениеводства. Сельскохозяйственное производство отличается чрезвычайным многообразием факторов использования машинных технологий. Полагаем, что степень реализации потенциальной продуктивности растениеводства обусловлена, в первую очередь, качеством построения и функционированием технологических систем в различных природно-климатических и меняющихся погодных условиях. Рассмотрим факторы, находящиеся в системной взаимосвязи и взаимовлиянии, и комплекс технологических операций существующих агротехнологий, определяющих продуктивность земледелия и оказывающих существенное влияние на эколого-экономическую и энергетическую стабильность сельскохозяйственного производства.

С точки зрения системного анализа всю совокупность технологических процессов, необходимых для производства сельхозпродукции с требуемым потребительским качеством, нужно рассматривать как большую производственную систему. Поскольку система состоит из основных технологических (обработки почвы, выращивание культур, уборка, подготовка продукции к сдаче или хранению и т.п.) и вспомогательных (ремонт, техническое обслуживание и хранение техники, нефтепродуктообеспечение МТА и др.) процессов, то нужно оценивать эффективность использования нефтепродуктов всей системой производства того или иного вида сельхозпродукции. Далее учитываем зависимость подъема экономики растениеводства от создания научно обоснованной системы современной высокоэффективной сельхозтехники, формирования соответствующего МТП, умелого маневрирования уборочной техникой и транспортными средствами, применения высокоурожайных районированных сортов, улучшения плодородия почв, агроклиматических ресурсов конкретного региона, тенденции изменения природно-климатических и производственных условий и т.д. В решении рассматриваемой проблемы главную роль играет энергоресурсосбережение, в котором ведущим фактором служит комплексное применение средств интенсификации технологий выращивания.

Проведя анализ положения с потреблением моторных топлив в нашей стране и в ПК США, были выявлены основные направления, обуславливающие их рациональное использование (рисунок 1).

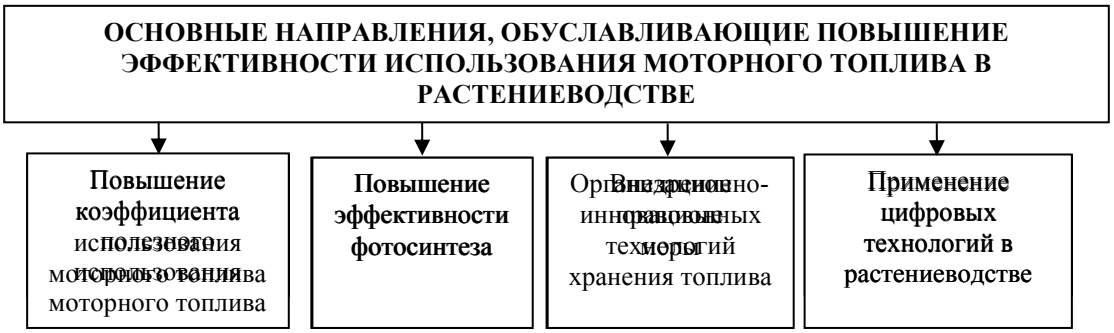


Рисунок 1 – Основные направления (блоки), обуславливающие рациональное использование моторного топлива в растениеводстве

Первый блок – повышение коэффициента полезного использования моторного топлива – имеет в настоящее время первостепенное значение, поскольку объекты инженерно-технической системы формируют до 70 % затрат, определяющих себестоимость сельхозпродукции, и являются основой машинных технологий производства продукции растениеводства.

В первый блок входят следующие группы факторов (рисунок 2):

1) создание и применение энергосберегающих технологий при обработке почвы, уборке урожая и его хранении, транспортных работах. В растениеводстве наиболее энергоемким (свыше 35 % энергетических затрат, потребляемых в сельском хозяйстве), технологическим процессом

является обработка почвы. В целях рационального использования нефтепродуктов и сохранения плодородия необходима дальнейшая разработка и совершенствование имеющихся различных эффективных приемов и технологий обработки почвы с учетом зональных условий (комплексно и системно), в том числе, традиционной отвальной вспашки, чизелевания почвы, минимальной и поверхностной обработки; оптимального размещения посевных площадей различных культур по различным регионам – это один из важных резервов погектарного расхода топлива и т. п.; Широкое применение в обработке почвы находят энергосберегающие системы земледелия, к ним относятся минимальная и нулевая обработка почвы. Однако необоснованное, бессистемное использование различных видов обработки почвы не всегда приводит к конечной цели – увеличению дохода производства с 1 га пашни. Реальная возможность повышения эффективности производства сельхозкультур в современных условиях зависит, прежде всего, от научной обоснованности применяемых технологий.

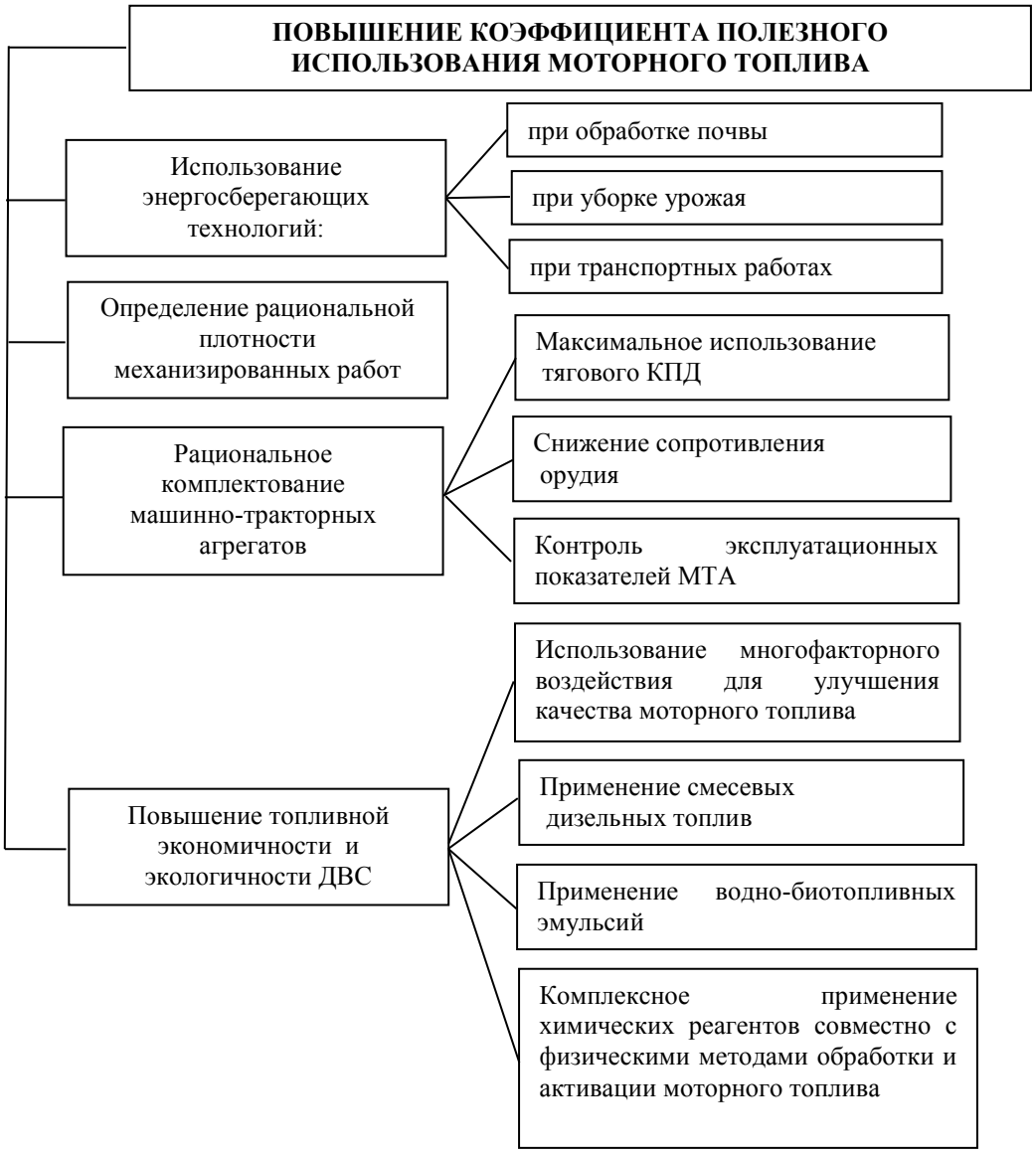


Рисунок 2 – Основные факторы, обуславливающие повышение коэффициента полезного использования моторного топлива

2) определение рациональной плотности механизированных работ. Подавляющая часть расходов моторного топлива приходится на долю мобильной энергетики, которая выполняет весь цикл полевых работ. Поэтому наиболее важным этапом является обоснование выбора и определение значения оптимальной интенсивности данного производства (т.е. оптимальной плотности механизированных работ и темпов их проведения), применительно к индивидуальным особенностям конкретных регионов России. Значение рациональной плотности механизированных работ определяем путем установления функциональной зависимости урожайности от плотности механизированных работ, природно-климатических условий и от экологического ущерба, нанесенного окружающей среде величиной выбранной плотности механизированных работ.

К заключительному этапу относится выбор таких операций соответствующего технологического процесса, которые обусловливают наименьшие суммарные затраты моторного топлива при использовании требуемой величины оптимальной интенсивности данного производства, а также нахождение оптимизационных решений в пределах каждой отдельно взятой ранее выбранной операции для данного региона.

3) рациональное комплектование МТА. Включает создание комбинированных агрегатов блочно-модульного построения для обработки почвы, применение которых позволит значительно сократить сроки и число проходов при выполнении технологических операций; максимальное использование тягового КПД; снижение сопротивления орудий за счет применения композиционных и полимерных материалов, антикоррозионных покрытий рабочих органов; уточнить оптимальный характер соединения рабочей машины с трактором, например, за счет разработки соответствующей конструкции упругодемпфирующего тягово-сцепного устройства; внедрение широкозахватной техники: культиваторов, дисковых борон, катков, сеялок и др.; разработка комбинированных агрегатов, сокращающих число проходов сельхозтехники по полю за счет совмещения технологических операций: фундаментом для конструирования сеялок нового поколения станут такие факторы, как точная заделка семян по глубине и длине рядка, локальное внесение удобрений в каждый рядок, разработка прогрессивных способов сева и т.п.

4) повышение топливной экономичности и экологичности ДВС. Включает совершенствование существующей и разработка новой энергоэкологичной сельскохозяйственной энергетики; создание ДВС и мобильных энергосредств с меньшим удельным расходом нефтепродуктов; оборудование тракторов бортовыми компьютерами для определения оптимальных режимов работы двигателя и для оптимизации режимов двигателя и МТА в целом; снижение удельного давления колесных движителей на почву и повышение их тягово-сцепных характеристик и др.

Следовательно, экономия энергозатарт в полеводстве достигается путем:

- тщательной и своевременной регулировки топливоподающей аппаратуры используемых энергетических средств;
- снижения весовых параметров машин на метр ширины захвата;
- совмещения технологических операций;
- замена энергоемких технологических операций на менее энергоемкие;
- рационального комплектования МТА.

При оптимальности типажа МТА учитывается ряд взаимодействующих внешних и внутренних факторов:

- природно-производственные условия эксплуатации и агротехнические требования в реально сложившемся сочетании;
- зависимость параметров МТА и их эксплуатационно-технологических показателей от природно-производственных условий;
- зависимости значений критериев эффективности МТА от его параметров и природно-производственных условий.

Все эти факторы, имеющие определенную внутреннюю структуру, образуют, в свою очередь, более сложную систему взаимосвязанных элементов.

Второй блок (рисунок 1) – повышение эффективности фотосинтеза, имеет не менее важное (чем первый блок) значение, поскольку с помощью управления процессом фотосинтеза можно регулировать (повышать) урожайность сельхозкультур, тем самым, снижая потребление моторного топлива. Во второй блок входят факторы, влияющие на потенциальную отдачу процесса фотосинтеза (рисунок 3).

Рисунок 3 – Основные факторы, обуславливающие повышение процесса фотосинтеза

Третий блок (рисунок 1) – внедрение инновационных технологий хранения топлива – является одним из краеугольных факторов, влияющих на рациональное использование моторного топлива. Неудовлетворительное состояние резервуарного парка нефтескладов, невысокое качество реализуемых на топливном рынке нефтепродуктов при неуклонном увеличении их стоимости требуют совершенствования методов их хранения с целью снижения качественных и количественных потерь. На основании проведенного анализа взаимосвязанных окислительных, коагуляционных и коррозионных процессов, разработаны методы предотвращения потерь и ухудшения качества топлив при хранении. Проанализированы и научно обоснованы пути совершенствования методов хранения. Разработана классификация методов хранения моторных топлив, систематизированы факторы, приводящие к качественным и количественным потерям нефтепродуктов при хранении (рисунок 4).

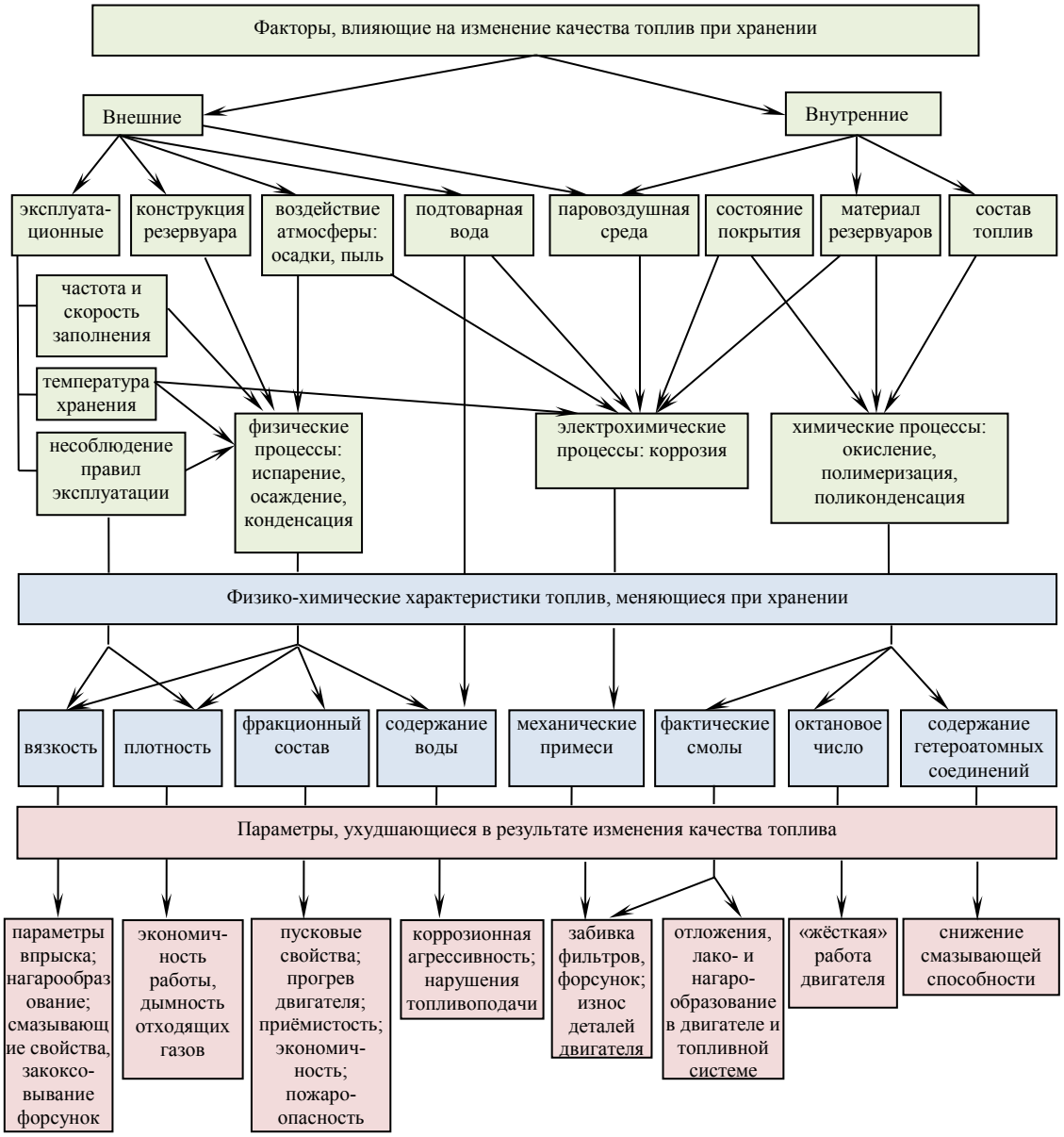


Рисунок 4 – Факторы, влияющие на снижение качества светлых нефтепродуктов при их хранении и работоспособность техники

Заключение. Поднятые в настоящей работе проблемы повышения эффективности использования моторного топлива и пути ее решения могут стать основой для разработки энергосберегающей политики в сельскохозяйственном производстве России.

Тактика сокращения потребления нефтепродуктов диктуется потенциальными возможностями существующего в конкретном хозяйстве МТП, наличия удобрений и реальным уровнем плодородия почв данного хозяйства. Проанализировав эти составляющие, можно будет предложить данному хозяйству, например, такой вариант, при котором при уменьшении обрабатываемой посевной площади можно будет получить такой же урожай, но с меньшими энергозатратами.

Список литературы

1. Эффективное использование нефтепродуктов в сельском хозяйстве / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 192 с.

2. Мартынов В.А. Сельское хозяйство США и его проблемы. – М., Мысль, 1971. – 350 с.
3. Назаренко В.И. Основные тенденции и факторы интенсификации сельскохозяйственного производства США. – М., ВНИИТЭИСХ, 1974. – 54 с.
4. Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday Solutions. Ed. by Goodwin C.D. – The Brookings Institution, Wash., 1981. – 728 p.
5. Food from Farm to Table. 1982. Yearbook of Agriculture: U.S. Department of Agriculture, Wash., GPO, 1982. – 302 p.
6. Сотников С.В. Экономические аспекты использования энергии в системе продовольственного комплекса США: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.16 . М., 1984. – 182 с.
7. Гусаков, Ф.А. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве. Практикум / Ф.А. Гусаков, Н.В. Стальмакова. - М.: Академия, 2018. - 288 с.
8. Васько, В.Т. Теоретические основы растениеводства и земледелия / В.Т. Васько. - М.: Профи-информ, 2017. - 247 с.

References

1. Jeffektivnoe ispol'zovanie nefteproduktov v sel'skom hozjajstve /S.A. Nagornov, S.V. Romancova, A.N. Zazulja, I.G. Golubev. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2006. – 192 s.
2. Martynov V.A. Sel'skoe hozjajstvo SShA i ego problemy. – M., Mysl', 1971. – 350 s.
3. Nazarenko V.I. Osnovnye tendencii i faktory intensifikacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva SShA. – M., VNIITJeISH, 1974. – 54 s.
4. Energy Policy in Perspective: Today's Problems, Yesterday Solutions. Ed. by Goodwin C.D. – The Brookings Institution, Wash., 1981. – 728 p.
5. Food from Farm to Table. 1982. Yearbook of Agriculture: U.S. Department of Agriculture, Wash., GPO, 1982. – 302 p.
6. Sotnikov S. V. Jekonomicheskie aspekty ispol'zovanija jenergii v sisteme prodovol'stvennogo kompleksa SShA: dis. ... kand. jekon. nauk: 08.00.16. M., 1984. – 182 s.
7. Gusakov, F. A. Organizacija i tehnologija mehanizirovannyh rabot v rastenievodstve. Praktikum / F.A. Gusakov, N.V. Stal'makova. - M.: Akademija, 2018. - 288 c.
8. Vas'ko, V.T. Teoreticheskie osnovy rastenievodstva i zemledelija / V.T. Vas'ko. - M.: Profi-inform, 2017. - 247 c.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 30.04.2020 Принята к публикации (Accepted): 12.06.2020

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 30.06.2020. Заказ № 27.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12.7 усл. печ. л. Тираж 100 экз.