ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2019 № 6(42)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

Дорогие друзья!
Редакция сердечно поздравляет всех членов
Редакционного совета, наших коллег и партнеров,
подписчиков, авторов и читателей журнала,
всех, кто способствовал его созданию и развитию,
с Новым 2020-м годом!
Этот праздник напоминает нам о безграничных
возможностях и перспективах, которые есть у нас
всех, приносит нам свежие идеи и энергию для их
воплощения, стремление к обновлению
и движению вперед.
Желаем всем счастья, творческих успехов и надеемся на
продолжение нашего плодотворного сотрудничества.

«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

№ 6 (42), 2019 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.

№ 6 (42). Дата выхода в свет 30.12.2019. 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», 2019

«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
№ 6 (42), 2019 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

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», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Нотов Р.А., Лебедев А.Т.
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДИСКОВЫХ СОШНИКОВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ 5
Криволапов И.П., Астапов А.Ю., Аксеновский А.В., Коротков А.А.
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА С ДОБАВЛЕНИЕМ ТОРФА 11
Астапов А.Ю., Криволапов И.П., Акишин Д.В.
ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ 17
Завражнов А.И., Матушкин П.А.
ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕННОЙ МОЙКЕ ОБОРУДОВАНИЯ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ 23
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ КАСКАДНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА 30
Доровских В.И., Жариков В.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОИЛЬНЫХ РОБОТОВ 35
Ожерельев В.Н., Сомин В.В., Андронова Н.В., Ожерельева М.В.
ТЕЛЕЖКА ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ РУЧНОГО СБОРА ЯГОД ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ 42
Башкирев А.П., Шварц А.А., Шкабенко А.Ю.
АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ 50
Лебедев П.А.
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 58
Сафонов В.В., Уткин В.В., Сафонов К.В., Мухин В.А., Добринский Э.К., Остриков В.В.
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СЕДИМЕНТАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА В СМАЗОЧНОЙ СРЕДЕ 67
Романцова С.В., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПОЛУЧЕННОГО НА ВИХРЕВОМ РЕАКТОРЕ, ПО СОСТАВУ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ 76
Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО НЕФТЕСКЛАДА 84
Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Балабанов В.И., Манохина А.А.
ОПТИЧЕСКИЙ ПОЛЕВОЙ МОНИТОРИНГ В ОРИГИНАЛЬНОМ КАРТОФЕЛЕВОДСТВЕ 91

CONTENTS

Notov R., Lebedev A.
WORKING CAPACITY OF DISK DISCONNERS OF GRAIN SEEDERS IN VARIOUS OPERATING CONDITIONS 5
Krivolapov I., Astapov A., Aksenovsky A., Korotkov A.
ANALYSIS OF THE RESULTS OF INVESTIGATIONS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POROUS ORGANIC MATERIAL WITH PEAT ADDITION 11
Astapov A., Krivolapov I., Akishin D.
OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF MATURITY OF APPLE-FRUITS 17
Zavrazhnov A., Matushkin P.
THE EFFECT OF SURFACTANTS ON THE SURFACE TENSION OF THE LIQUID IN THE FOAM WASHING EQUIPMENT DAIRY INDUSTRIES 23
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K.
STUDY OF QUALITY OF WORK OF THE CASCADE DIVIDER OF THE FLOW OF THE BULK MATERIAL 30
Dorovskikh V., Zharikov V.
RESEARCH OF QUALITATIVE INDICATORS OF USE OF MILKING ROBOTS 35
Ozherelev V., Somin V., Andronova N., Ozhereleva M.
TROLLEY TO FACILITATE MANUAL HARVESTING OF STRAWBERRIES 42
Bashkirev A.P., Schwartz A.A., Shkabenko A.Y.
ANALYSIS OF THE WORK OF FIELD SPRAYERS 51
Lebedev P.
ON THE ISSUE OF IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MTA IN THE PERFORMANCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES 59
Safonov V., Utkin V., Safonov K., Mukhin V., Dobrinsky E., Ostrikov V.
INFLUENCE OF ULTRASOUND ON THE SEDIMENTATION STABILITY OF A NANODISPERSED POWDER IN LUBRICANT MEDIUM 67
Romantsova S., Nagornov S., Kornev A.
FORECASTING OF THE CETAN NUMBER OF BIO-DIESEL FUEL OBTAINED BY THE VORTEX REACTOR, BY THE COMPOSITION OF METHYL ETHERS OF FATTY ACIDS 76
Levin M., Nagornov S., Levina E.
IMPROVEMENT OF STORAGE TECHNOLOGIES OF LIGHT OIL PRODUCTS USING INTELLECTUAL OIL WAREHOUSE 84
Starovoitov V., Starovoitova O., Balabanov V., Manokhina A.
OPTICAL FIELD MONITORING IN ORIGINAL POTATO FARMING 91

УДК 631.331
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-5-10

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДИСКОВЫХ СОШНИКОВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

[1]Нотов Руслан Адальбиевич
[1]Лебедев Анатолий Тимофеевич
[1]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Реферат. *Существует положительная практика применения полимерных материалов для обработки дисковых сошников зерновых сеялок. Установлено что полимерные покрытия - хорошее противодействие налипанию почвы и снижение тягового сопротивления при ее влажности более 25 %, но при влажности почвы, не превышающей 15 % будет наблюдаться повышенный износ таких покрытий. Следует учитывать, что влажность слоя почвы неравномерна по глубине даже после четырехсот-часового испарения влаги, из-за чего эффект изнашивания поверхности дисков сошников будет наблюдаться почти всегда, но с различной интенсивностью, в зависимости от типа и структуры почвы, погодных условий, и режима посевных работ. Определяли коэффициент трения и относительную интенсивность изнашивания на переоборудованной машине трения МТУ-01. Исследовали свойства капролона, фторопласта, СВМПЭ Р-500, СВМПЭ Р-1000 в сравнении со стандартным стальным образцом на среднесуглинистой каштановой почве влажностью 8-10 %. Полученные результаты показали, что наиболее износостойкими полимерами оказались сверхвысокомолекулярный полиэтилен СВМПЭ и капролон, у которых интенсивность изнашивания до 18 раз ниже, чем у фторопласта и до 4 раз ниже, чем у стали. На основе экспериментальных результатов, известных данных по испытанию полимерных материалов на липкость, и износостойкость, теории надежности, нами разработана графическая схема этапов работоспособности системы «дисковый сошник». Нормальная работоспособность системы подразумевает посев в агротехнические сроки, соответствующие физической спелости почвы или ее влажности 11 – 25 %. Покрытие дисков полимерными материалами, позволит снизить зависимость хозяйств от агротехнических сроков и производить посевные работы в сухую и переувлажненную почву без нарушения режимов работы посевного агрегата.*

Ключевые слова: *работоспособность, переменные условия эксплуатации, дисковый сошник, зерновая сеялка, полимерный материал, снижение износа, противодействие налипанию.*

WORKING CAPACITY OF DISK DISCONNERS OF GRAIN SEEDERS IN VARIOUS OPERATING CONDITIONS

[1]Notov Ruslan
[1]Lebedev Anatoly
[1]FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"

Abstract. *There is a good practice in the use of polymeric materials for processing disk coulters of grain seeders. It has been established that polymer coatings are a good anti-soil buildup and a decrease in traction resistance when its moisture is more than 25 %, but with soil moisture not exceeding 15 %, increased wear of such coatings will be observed. It should be borne in mind that the moisture of the soil layer is uneven in depth even after four hundred hours of moisture evaporation, due to which the wear effect of the surface of the coulter discs will be observed almost always, but with different intensities, depending on the type and structure of the soil, weather conditions, and regime sowing work. The coefficient of friction and the relative wear rate on the converted MTU-01 friction machine were determined. The properties of caprolon, fluoroplastic, UHMWPE P-500, UHMWPE P-1000 were studied in comparison with a standard steel sample on medium loamy chestnut soil with a moisture content of 8-10 %. The results showed that the most wear-resistant polymers were ultra-high molecular weight UHMWPE polyethylene and caprolon, in which the wear rate is up to 18 times lower than that of*

fluoroplast and up to 4 times lower than that of steel. We developed a graphical diagram of the stages of operability of the "disk coulter" system based on experimental results, well-known data on the testing of polymer materials for stickiness, wear resistance, and reliability theory. The normal working capacity of the system implies sowing in agro-technical terms corresponding to the physical ripeness of the soil or its moisture content of 11 – 25 %. Covering discs with polymeric materials will make it possible to reduce the dependence of farms on agrotechnical periods and to sow work in dry and waterlogged soil without violating the operating conditions of the sowing unit.

Keywords: *operability, variable operating conditions, disc coulter, grain seeder, polymer material, reduced wear, anti-sticking.*

Введение. Одной из наиболее распространенных причин обоснованности использования полимерных материалов на рабочих органах почвообрабатывающей техники является хорошее противодействие налипанию почвы и снижение тягового сопротивления в почвах с влажностью более 25 %. Однако, при влажности почвы не превышающей 15 % будет наблюдаться повышенный износ таких покрытий. А повышение давления на рабочих поверхностях, контактирующих с почвой, может приводить к деформациям или разрушению полимерного покрытия, из-за увеличения температуры таких материалов.

Существует положительная практика применения полимерных материалов для обработки дисковых сошников зерновых сеялок, нанесенных как в жидком виде, так и в виде накладок [1-3]. Полимерное покрытие выступает в роли промежуточного слоя на границе контакта между почвой и рабочим органом [3]. Ученые, занимающиеся разработкой этих технологий, часто решают проблему налипания почвы, забывая о том, что в нашей стране и по миру в целом существуют такие регионы, где из-за засушливых сезонов посев вынуждены осуществлять в неувлажненную почву.

Кроме того, необходимо учитывать, что, по данным [4] влажность слоя почвы неравномерна по глубине даже после 400 часов испарения влаги (рисунок 1).

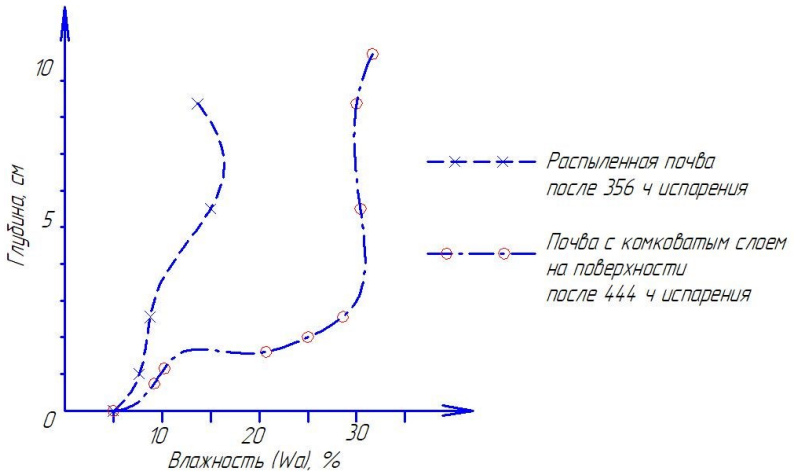


Рисунок 1 – Распределение влажности в почве по глубине после испарения

Как видно из графика на глубине 0 - 4 см влажность распыленной почвы не превышает 10 % и незначительно возрастает до максимального значения в 15 -16 % на глубине 5 - 8 см, что уже подразумевает повышенный износ поверхности дисков при любой глубине хода. Для комковатой почвы данный показатель значительно ниже и почва влажностью 10 -15 % находится на глубине до 1 см. Одновременно с этим, у комковатой почвы на глубине 4 - 5 см наблюдается резкий рост влажности до 30 %, при которой будет происходить повышенное налипание почвы на диски.

Исходя из этих данных, можно говорить о том, что эффект изнашивания поверхности дисков сошников будет наблюдаться почти всегда, но с различной интенсивностью, которая будет зависеть от типа и структуры почвы, погодных условий, и режима посевных работ.

Материалы и методы. Для повышения универсальности использования полимерных

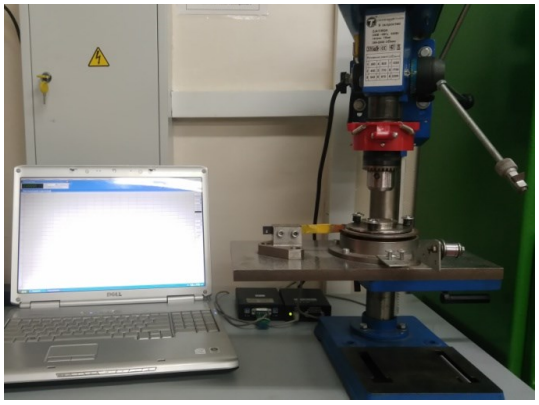
покрытий в почвообработке необходимо проводить экспериментальные исследования по изучению взаимодействия полимерных покрытий и почвы и определению самых эффективных материалов. Например, есть экспериментальные данные, доказывающие, что такие полимеры, как фторопласт и полиэтилен, позволяют снизить налипание почвы на покрытые ими диски сошника до 2 - 5,5 раз, по сравнению со стандартным стальным диском [1, 5].

Используя, положительный опыт применения полимерных покрытий на двухдисковых сошниках зерновых сеялок и задавшись условием, что покрытие должно противодействовать налипанию почвы при высокой влажности, быть износостойким при работе в сухой почве, не повреждаться, испытывая повышенные нагрузки, и не нарушать требуемого качества посевных работ, были проведены экспериментальные исследования полимеров отвечающих этим условиям.

Для эксперимента по определению коэффициента трения, величины износа и интенсивности изнашивания использовалась переоборудованная машина трения МТУ-01 (рисунок 2а), оборудованная тензодатчиком [6]. Эксперимент проводился по 4 различным видам полимерных материалов (капролон, фторопласт, СВМПЭ Р-500, СВМПЭ Р-1000) в сравнении со стандартным стальным образцом (рисунок 2б). Для определения влажности почвы использовался анализатор влажности ЭЛВИЗ 2.

Эксперименты проводились на среднесуглинистой каштановой почве влажностью 8-10 % с содержанием в ее составе физической глины (частицы менее 0,1 мм) 30 – 40 %.

Так как метод испытаний на машине трения МТУ-01 основывается на вращательном перемещении верхнего образца относительно неподвижного нижнего образца, нами были изготовлены элемент для запрессовки исходных образцов и стакан для почвы. Таким образом, в элемент для запрессовки помещался соответствующий полимер или стальной образец, который устанавливается на машину трения и вращается в стакане, наполненном почвой на 70 – 85 % (рисунок 2в), при этом почва предварительно просеивалась на сите с диаметром отверстий 1 мм из набора сит СПП.

а) 

б)

в)

Рисунок 2 - Машина трения МТУ-01 (а), образцы для испытаний (слева на право): сталь, капролон, фторопласт, СВМПЭ Р-500, СВМПЭ Р-1000 (б) и их установка (запрессовка) для испытания при вращении в стакане с почвой (в).

Исходя из того, что тяговое сопротивление двухдискового сошника сеялки С3 - С3,6, в зависимости от конструкции, скорости движения, глубины заделки и влажности почвы, может варьироваться в интервале 40 - 300 Н [2, 5, 7], нами были рассчитаны теоретические максимальные нагрузки, соответствующие площади контакта двухдискового сошника с почвой для глубины заделки семян 3, 6 и 9 см.

Таким образом, были получены, соответствующие нагрузки для испытания образцов на машине трения МТУ- 01. Площадь контакта дисков сошника с почвой изменяется по мере увеличения глубины заделки семян. С учетом теоретической максимальной нагрузки (100, 200 и

300 Н для 3, 6 и 9 см, соответственно) при глубине заделки 3 см давление будет равно 0,008 МПа, при 6 см 0,007 МПа, а при 9 см 0,0066 МПа. Тогда для создания соответствующего давления в зоне контакта образца с почвой на машине трения необходимо обеспечить нагрузку не более 7 Н на ось машины трения.

Частота вращения главной оси машины трения составляет n = 1550 мин$^{-1}$, что соответствует линейной скорости v = 2,68 м/с в зоне контакта образца с почвой и соответствует нормальным условиям при полевых посевных работах, когда диски сошников вращаются с линейной скоростью от 1,5 м/с до 4 м/с.

Влажность почвы в эксперименте устанавливалась исходя из известных данных о физической спелости почвы (агротехнические сроки), то есть оптимальных показателей влажности Wa для ее обработки и проведения посевных работ. Физическая спелость почвы обуславливает агротехнические сроки, а влажность почвы в этот период составляет от Wa = 12±2 % до Wa = 23±3 % в зависимости от типа почвы. При этом при снижении влажности будет наблюдаться повышенный износ поверхностей сошников, потому что при влажности 0 - 10 % почва не будет прилипать к металлу и коэффициент трения не зависит от влажности, а значит, происходит непосредственный износ рабочей поверхности.

Результаты и их обсуждение. Результаты по определению износостойких показателей полимерных материалов и стального образца при влажности почвы 8 -10 % занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты по испытанию полимерных материалов на машине трения МТУ-01

Показатель	Образец				
	сталь 65Г, 54 HRC	капролон П-6 блочный	фторопласт Ф4	СВМПЭ Р-500	СВМПЭ Р-1000
Коэффициент трения	0,03	0,04	0,1	0,1	0,03
Относительная интенсивность изнашивания, мг/ч	1	0,35	4,5	0,25	0,25

Как видно из таблицы, наиболее износостойкими полимерами оказались сверхвысокомолекулярные полиэтилены и капролон, у которых интенсивность изнашивания до 18 раз ниже, чем у фторопласта и до 4 раз ниже, чем у стали, но при этом по данным [1, 5, 8] полиэтилен и фторопласт до 5,5 раз лучше противодействуют налипанию, чем стандартные стальные дисковые сошники.

Исходя из проведенного эксперимента и других известных данных по испытанию полимерных материалов на липкость, и износостойкость, руководствуясь основами теории надежности, можно графически изобразить этапы работоспособности системы «дисковый сошник» (рисунок 3).

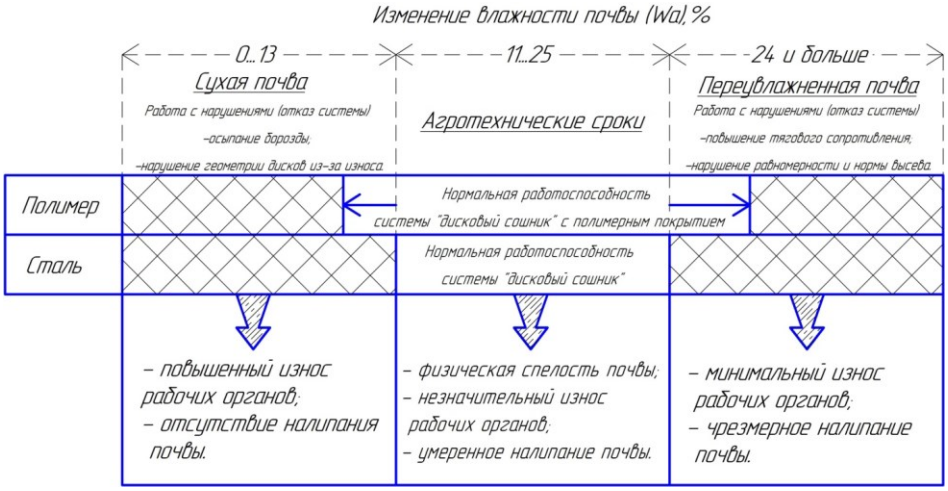


Рисунок 3 – Схема этапов работоспособности системы «дисковый сошник»

Как показано на рисунке, схематически работоспособность системы «дисковый сошник» можно разделить на три зоны, две из которых сопровождаются отказами системы и одна соответствует нормальной ее работоспособности.

На сухой почве (влажность 0 – 13 %) будет происходить повышенный износ рабочих органов, контактирующих с почвой, но при этом отсутствует налипание почвы на диски, но может наблюдаться осыпание при бороздообразовании.

Нормальная работоспособность системы - посев в агротехнические сроки, которые различны для каждого вида почвы и соответствуют ее физической спелости [4, 9], когда влажность составляет 11 – 25 %. В данной зоне может происходить, как износ дисков сошника, так и налипание на них почвы, но без нарушения режимов посевных работ. Стоит отметить, что из-за налипания увеличивается коэффициент трения и повышается тяговое сопротивление сошника.

При влажности почвы свыше 24 % (переувлажненная почва) износ рабочих органов минимален, но при этом налипание почвы приводит к нарушениям в равномерности и норме высева, а также к значительному повышению тягового сопротивления за счет трения налипшей почвы о почвенный слой. При этом коэффициент трения начинает снижаться при влажности более 30 % так как имеет место эффект смазывания поверхности диска переувлажненными массами почвы [10].

Рисунок 3 отражает возможность увеличения границ зоны нормальной работоспособности системы «дисковый сошник» за счет покрытия дисков полимерными материалами. Это позволит снизить зависимость хозяйств от агротехнических сроков и позволит производить посевные работы в сухую почву с влажностью менее 11 % и в переувлажненную почву с влажностью свыше 24 % без нарушения режимов работы посевного агрегата.

Выводы. Применение полимерных материалов в виде покрытий или накладок на диски сошников сеялок, например [11], позволит повысить универсальность посевных агрегатов при переменных погодных условиях на любом этапе их использования, будь то посев ранней весной, подсев, пересев и подкормка в течение года.

Дальнейшие исследования, посвященные испытанию взаимодействия полимерных материалов с почвой, могут быть полезны не только для сельского хозяйства и почвообрабатывающей техники, но и в других сферах жизнедеятельности человека.

Список литературы

1. Нотов Р.А. Исследование работы дисковых сошников сеялки с полимерным покрытием // Аграрный вестник Урала. – 2013. – №7(113). – С. 33-34.

2. Габаев А.Х. Конструктивно-технические решения повышения эффективности работы сеялки в условиях повышенной влажности почв: автореф. дисс. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Габаев Алий Халисович. – Нальчик, 2017. – 19с.

3. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI веку. – 2010. – № 9. – С. 112-114.

4. Муха В.Д., Картамышев Н.И., Муха Д.В. Агропочвоведение / Издательство: КолосС. 2003 г. – 529 с.

5. Ероков М.Б. Исследование и обоснование режимов работы сошника зерновой сеялки в условиях повышенной влажности почвы: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Ероков Мурат Борисович. - Нальчик, 2000. - 153с.

6. Перепелкина С.Ю., Коваленко П.П., Печенко Р.В., Нуждин К.А. Методика исследования Трибологических характеристик материалов на машине трения // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2016. – Т.59 – № 8. – С. 636-640.

7. Сарсенов А.Е. Повышение эффективности зерновой сеялки путем совершенствования конструкции сошника для улучшения распределения семян в почве: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Сарсенов Амангельды Естаевич. – Саратов, 2017. – 210с.

8. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. Модернизация зерновой сеялки для работы в условиях повышенной влажности почв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование – 2016. – № 3 (43). – С. 238-245.

9. Технологам-Инженерам. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель. Физическая спелость почв / URL: https://mehanizator-ua.ru/pochvenno-tekhnologicheskoe-rajonirovanie-pakhotnykh-zemel/383-fizicheskaya-spelost-pochv.html (дата обращения 22.11.2019).

10. Механизмы и Технологии. Технологические свойства почвы / URL: https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-tekhnicheskim-temam/182-tekhnologicheskie-svojstva-pochvy.html (дата обращения 22.11.2019).

11. Патент 190896 РФ, МПК А 01 С 7/20. Двухдисковый сошник / А.Т. Лебедев, В.В. Очинский, Н.А. Марьин, А.К. Апажев, Р.А. Нотов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2019110459; заявл. 08.04.2019; опубл. 16.07.2015, Бюл. № 20.

References

1. Notov R.A. Issledovanie raboty diskovyh soshnikov seyalki s polimernym pokrytiem // Agrarnyj vestnik Urala. – 2013. – №7(113). – S. 33-34.

2. Gabaev A.H. Konstruktivno-tekhnicheskie resheniya povysheniya effektivnosti raboty seyalki v usloviyah povyshennoj vlazhnosti pochv: avtoref. diss. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Gabaev Alij Halisovich. – Nal'chik, 2017. – 19s.

3. Zen'kov S.A., Kozik A.S., Bujlov O.A. Primenenie polimernyh protivonalipayushchih listov dlya snizheniya adgezii gruntov k rabochim organam zemlerojnyh mashin // Mekhaniki XXI veku. – 2010. – № 9. – S. 112-114.

4. Muha V.D., Kartamyshev N.I., Muha D.V. Agropochvovedenie / Izdatel'stvo: KolosS. 2003 g. – 529 s.

5. Erokov M.B. Issledovanie i obosnovanie rezhimov raboty soshnika zernovoj seyalki v usloviyah povyshennoj vlazhnosti pochvy: diss. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Erokov Murat Borisovich. - Nal'chik, 2000. - 153s.

6. Perepelkina S.YU., Kovalenko P.P., Pechenko R.V., Nuzhdin K.A. Metodika issledovaniya Tribologicheskih harakteristik materialov na mashine treniya // Izv. Vuzov. Priborostroenie. – 2016. – T.59 – № 8. – S. 636-640.

7. Sarsenov A.E. Povyshenie effektivnosti zernovoj seyalki putem sovershenstvovaniya konstrukcii soshnika dlya uluchsheniya raspredeleniya semyan v pochve: diss. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Sarsenov Amangel'dy Estaevich. – Saratov, 2017. – 210s.

8. Apazhev A.K., SHekihachev YU.A., Hazhmetov L.M. Modernizaciya zernovoj seyalki dlya raboty v usloviyah povyshennoj vlazhnosti pochv // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie – 2016. – № 3 (43). – S. 238-245.

9. Tekhnologam-Inzheneram. Pochvenno-tekhnologicheskoe rajonirovanie pahotnyh zemel'. Fizicheskaya spelost' pochv / URL: https://mehanizator-ua.ru/pochvenno-tekhnologicheskoe-rajonirovanie-pakhotnykh-zemel/383-fizicheskaya-spelost-pochv.html (data obrashcheniya 22.11.2019).

10. Mekhanizmy i Tekhnologii. Tekhnologicheskie svojstva pochvy / URL: https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-tekhnicheskim-temam/182-tekhnologicheskie-svojstva-pochvy.html (data obrashcheniya 22.11.2019).

11. Patent 190896 RF, MPK A 01 C 7/20. Dvuhdiskovyj soshnik / A.T. Lebedev, V.V. Ochinskij, N.A. Mar'in, A.K. Apazhev, R.A. Notov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Stavropol'skij GAU. № 2019110459; zayavl. 08.04.2019; opubl. 16.07.2015, Byul. № 20.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Нотов Руслан Адальбиевич – инженер, соискатель кафедры «Технический сервис, стандартизация и метрология» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь.

Лебедев Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь, e-mail: lebedev.1962@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Notov Ruslan – engineer, applicant for the department “Technical Service, Standardization and Metrology” of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Anatoly Lebedev – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: lebedev. 1962@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 05.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2019

УДК 62-97/-98:631.333.92
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-11-16

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА С ДОБАВЛЕНИЕМ ТОРФА

[1]Криволапов Иван Павлович
[1]Астапов Андрей Юрьевич
[1]Аксеновский Алексей Васильевич
[1]Коротков Артемий Александрович
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *В большинстве установок биологической фильтрации используется смесь различных пористых органических компонентов: компост из отходов животноводства, компост из бытовых отходов, почва, перегнившая листва и т.д., нередко в качестве добавки применяют торф, который также оказывает существенное влияние на физико-механические свойства материала. Обоснована и предложена методика оценки основных физико-механических свойств пористого органического материала с добавлением торфа: влажности, пористости и насыпная плотность, опыты проведены в трехкратной повторности. Влажность определяли экспресс методом с помощью анализатора влажности Эвлас-2М, предназначенного для экспрессного определения массовой доли влаги термогравиметрическим методом. Пористость оценивали по свободному пространству между частицами материала с помощью жидкости. Насыпную плотность материала определяли по неуплотненной массы в емкости известного объема. На основании экспериментальных данных получены графические зависимости изменения пористости и насыпной плотности пористого органического материала от его влажности, выявлено, что при уровне влажности 40 % пористость составляет 52 %. При влажности 60 % пористость снижается до значения 38 %, а при 67 % влажности пористость составляет около 32 %. При влажности 40 % насыпная плотность составляет 420 кг/м^3, а при влажности 67 % значение насыпной плотности достигает 870 кг/м^3. Эти значения также обусловлены высоким уровнем пористости органического материала, который накапливает в себе значительный объем влаги.*

Ключевые слова*: пористый органический материал, торф, насыпная плотность, пористость.*

ANALYSIS OF THE RESULTS OF INVESTIGATIONS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POROUS ORGANIC MATERIAL WITH PEAT ADDITION

[1]Krivolapov Ivan
[1]Astapov Andrey
[1]Aksenovsky Alexey
[1]Korotkov Artemiy
[1]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract*. A mixture of various porous organic components: compost from animal waste, compost from household waste, soil, decayed foliage, etc. are used in most biological filtration plants, peat is often used as an additive, which also has a significant effect on the physicomechanical properties of the material. The methodology for assessing the basic physical and mechanical properties of porous organic material with the addition of peat: moisture, porosity and bulk density was substantiated and proposed, experiments were carried out in triplicate. Humidity was determined by the express method using an Evlas-2M moisture analyzer designed for the rapid determination of the mass fraction of moisture by the thermogravimetric method. Porosity was estimated by the free space between the particles of the material using a liquid. The bulk density of the material was determined by the unconsolidated mass in a container of known volume. Graphic dependences of changes in porosity and bulk density of a porous organic material on its moisture content were obtained on the basis of experimental data, it was revealed that at a humidity level of 40 %, porosity is 52 %. Porosity decreases to 38 % at a humidity of 60 %, porosity is about 32 % at a moisture content of 67 %. The bulk density is 420 kg / m3 at a humidity of*

40 %, and the bulk density reaches 870 kg / m3 at a humidity of 67 %. These values are also due to the high level of porosity of the organic material, which accumulates a significant amount of moisture.

***Keywords**: porous organic material, peat, bulk density, porosity.*

Введение. Для обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства одним из вариантов является использование технологии биологической фильтрации воздуха, загрязняемого в процессе переработки отходов животноводства. Ключевым элементом данной технологии является пористый органический фильтрующий материал на котором закрепляются микроорганизмы-деструкторы и используют вредные компоненты выброса для своего развития.

Важнейшими показателями фильтрующего материала являются его физико-механические свойства и химический состав, поэтому комплексное изучение этих показателей позволяет оптимизировать работу системы и обеспечивать ее контроль.

Из физико-механических показателей ключевыми являются: пористость, влажность и насыпная плотность материала, динамика их изменения оказывает большое значение на эффективность очистки воздуха и срок службы фильтрующего материала.

Гидравлические сопротивления во время движения жидкости в пористой среде пропорциональны скорости потока и вязкости жидкостей. Эти сопротивления аналогичны сопротивлению трения при движении жидкости в трубах. Но в отличие от движения жидкости в трубах характер ее течения в микронеоднородной пористой среде имеет свои особенности [1, 2].

Фильтрация воздуха пористым органическим материалом как раз и является примером наличия закрытых и тупиковых пор, в котором часть пор занята водой, удерживаемой в поровом пространстве за счет капиллярных сил, в результате в поровом пространстве формируется единая система пор, связанная с поверхностью пористого тела и проницаемая для внешней среды, поэтому при определении пористости следует различать полную $П_{vo}$ и эффективную $П_{vs}$ пористость.

На эти показатели значительное влияние оказывает вид пористого органического материала, в большинстве установок биологической фильтрации используется смесь различных пористых органических компонентов: компост из отходов животноводства, компост из бытовых отходов, почва, перегнившая листва и т.д., нередко в качестве добавки применяют торф, который также оказывает существенное влияние на физико-механические свойства материала.

В этой связи исследования, направленные на определение основных физико-механических свойств пористого органического материала с добавлением торфа являются актуальными.

Материалы и методы. В процессе проведения экспериментов по оценке эффективности применения пористого органического материала с добавлением торфа, были проведены исследования по определению изменения пористости и насыпной плотности в зависимости от егот влажности.

Пористость органического материала с добавлением торфа определялась по методике, изложенной в работе [4], и заключалась в определении свободного пространства между частицами материала с помощью жидкости.

Методика состояла из нескольких последовательных этапов:

1) в емкость известного объема засыпался пористый органический материал с добавлением торфа.

Материал также засыпался поэтапно, на первом этапе ёмкость наполнялась на третью часть ее объема, после чего этот объем уплотнялся, путем десятикратного опускания емкости в высоты 15 см на твердое основание, после этого емкость вновь заполнялась еще на треть и аналогичным образом уплотнялась, затем материал засыпался в емкость полностью, вновь уплотнялся и окончательно досыпался до верхнего уровня емкости;

2) другая емкость известного объема заполнялась водой;

3) вода из второй емкости медленно переливалась в емкость с материалом до тех пор, пока ее уровень не достигал максимального значения, рисунок 1.

Пористость определяли по формуле:

$$m = \frac{V_1}{V} \quad (1)$$

где V_1 – объем воды заливаемой в емкость с пористым материалом, л; V - объем пористого материала в емкости, л.

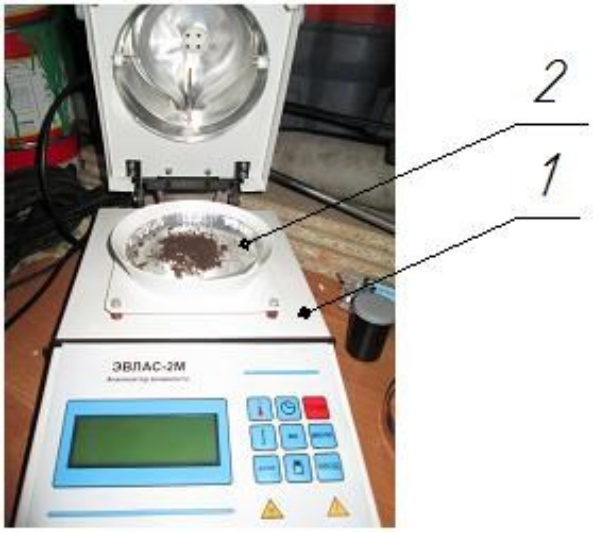
Рисунок 1 – Процесс определения пористости пористого органического материала с добавлением торфа

Влажность материала определяли путем его сушки до постоянной массы по ГОСТ 11305-2013 [5]. Влажность определялась экспресс методом с помощью анализатора влажности влажности Эвлас-2М, предназначенный для экспрессного определения массовой доли влаги термогравиметрическим методом в лабораторных условиях, с диапазоном значений абсолютной погрешности результатов измерения влажности в зависимости от анализируемого материала в пределах от ±0,2% до ±1,5%.

Измерения проводили в следующем порядке: анализатор влажности установили на ровной устойчивой площадке размером 400×700 мм для обеспечения нормального функционирования прибора он был прогрет в течение 30 мин., через 30 мин. нагреватель автоматически отключился.

Масса навески для сушки не превышала 5 г., с этой целью она предварительно взвешивалась на аналитических лабораторных электронных весах с классом точности $\pm 0{,}01 \cdot 10^{-3}$ кг по ГОСТ 53228-2008, после чего навеска помещалась на чистую чашу для проб.

Сушка осуществлялась при температуре 160°С до достижения постоянной массы, как правило в течение 7..15 минут, рисунок 2.



1 - анализатор влажности Эвлас-2М; 2 - чаша с фильтрующим материалом

Рисунок 2 – Определение влажности пористого органического материала с добавлением торфа

Насыпная плотность материала определялась по ГОСТ 24701-2013 [6] и заключалась в определении его неуплотненной массы в емкости известного объема.

Для определения насыпной плотности, подготовленный пористый материал засыпался в предварительно взвешенную емкость известного объема и взвешивался с помощью электронных подвесных весов ВНТ-30-10. После взвешивания емкости из нее производился отбор проб для определения влажности материала (рисунок 3).

Рисунок 3 – Определение насыпной плотности пористого органического материала с добавлением торфа

Насыпную плотность ρ_H определяли по формуле

$$\rho_H = \frac{m - n\left(\frac{m_1 + m_2}{2}\right)}{nV}, \quad (2)$$

где n – количество взвешиваний емкости и фильтрующим материалом; m – суммарная масса емкости с материалом в результате взвешиваний, кг; m_1 – масса пустой емкости вначале проведения исследований, кг; m_2 – масса емкости после проведения исследований, кг; V – объем емкости, м^3.

Опыты по определению влажности проводили в трехкратной повторности.

Результаты и их обсуждение. Зависимость пористости материала от его влажности, представлена на рисунке 4.

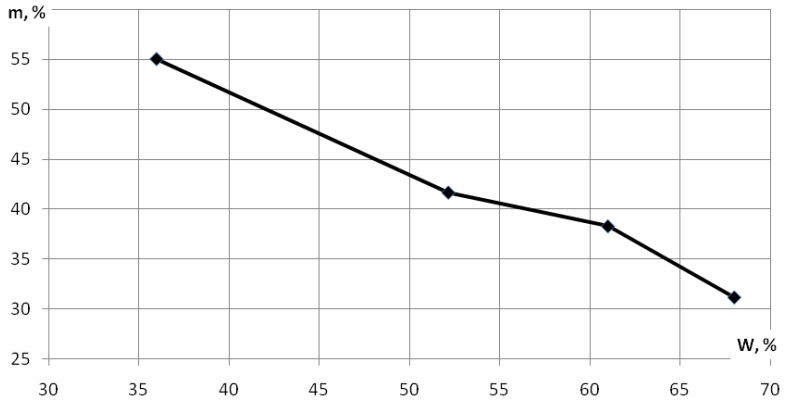


Рисунок 4 – Зависимость изменения пористости пористого органического материала с добавлением торфа от влажности

Анализ данной графической зависимости, представленной на рисунке, показывает, динамику снижения пористости органического материала с добавлением торфа с увеличением влажности, так при уровне влажности 40% пористость составляет 52%, в то время как при влажности 60% пористость снижается до значения 38%, а при 67% влажности пористость составляет около 32%, что обусловлено заполнением свободного объема порового пространства водой и уплотнением пор под действием силы тяжести.

Зависимость изменения насыпной плотности материала от его влажности, представлена на рисунке 5.

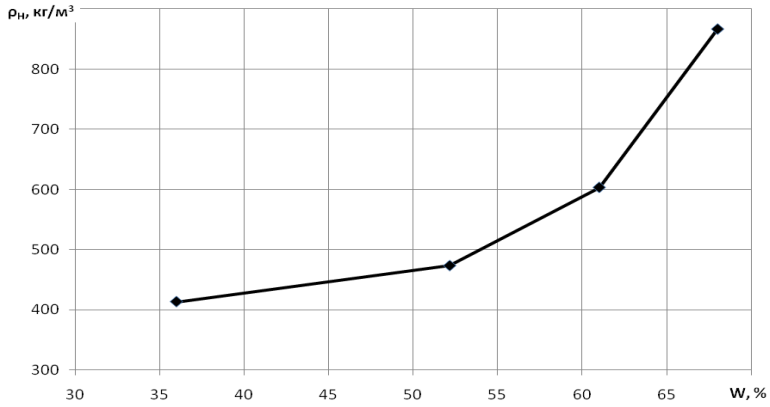


Рисунок 5 – Зависимость изменения насыпной плотности пористого органического материала с добавлением торфа от его влажности

Анализ графической зависимости, представленной на рисунке 5 показывает, увеличение насыпной плотности пористого органического материала с добавлением торфа с ростом его влажности, так при влажности 40% насыпная плотность составляет 420 кг/м^3, а при влажности 67% значение насыпной плотности достигает 870 кг/м^3 эти значения также обусловлены высоким уровнем пористости органического материала, который накапливает в себе значительный объем влаги.

Заключение. В ходе проведенных исследований определено, что пористость и насыпная плотность пористого органического материала с добавлением торфа значительно зависит от уровня его влажности и при определенных значениях приводит к высокому уровню уплотнения, это определяет необходимость применения дополнительных материалов, снижающих насыпную плотность и формирующих высокую пористую равномерную структуру по всему объему материала.

Список литературы

1. Рабинович Е.З. Гидравлика, изд. 3-е, испр. и перераб. – М.: гос. изд-во физ-мат. литературы, 1961. – 408 с.

2. Математическое моделирование пористых структур [Электронный ресурс] / Москалев П.В., Шитов В.В. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

3. Криволапов И.П., Новикова В.С., Колдин М.С. Пористость, как основной показатель, определяющий фильтрационную способность органического материала // Наука и Образование: электрон. журн. [Электронный ресурс]. – 2018. – №1. - Режим доступа: http://opus.mgau.ru/index.php/see/article/view/306

4. Richard N., Schmidt D. Biofilters // South Dakota State University college of agriculture & Biological sciences cooperative extension service / USDA cooperating/2005

5. ГОСТ 11305-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги (Переиздание). М.: ФГУП Стандартинформ. – 2014. – 12 с.

6. ГОСТ 24701-2013 Торф. Методы определения плотности (Переиздание). М.: ФГУП Стандартинформ. – 2014. – 11с.

References

1. Rabinovich E.Z. Gidravlika, izd. 3-e, ispr. i pererab. – M.: gos. izd-vo fiz-mat. literatury, 1961. – 408 s.

2. Matematicheskoe modelirovanie poristyh struktur [Elektronnyj resurs] / Moskalev P.V., SHitov V.V. - M.: FIZMATLIT, 2007.

3. Krivolapov I.P., Novikova V.S., Koldin M.S. Poristost', kak osnovnoj pokazatel', opredelyayushchij fil'tracionnuyu sposobnost' organicheskogo materiala // Nauka i Obrazovanie: elektron. zhurn. [Elektronnyj resurs]. – 2018. – №1. - Rezhim dostupa: http://opus.mgau.ru/index.php/see/article/view/306

4. Richard N., Schmidt D. Biofilters // South Dakota State University college of agriculture & Biological sciences cooperative extension service / USDA cooperating/2005

5. GOST 11305-2013 Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya vlagi (Pereizdanie). M.: FGUP Standartinform. – 2014. – 12 s.

6. GOST 24701-2013 Torf. Metody opredeleniya plotnosti (Pereizdanie). M.: FGUP Standartinform. – 2014. – 11s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Криволапов Иван Павлович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: ivan0068@bk.ru.

Астапов Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: Astapow_a@mail.ru.

Аксеновский Алексей Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: noky2002@mail.ru.

Коротков Артемий Александрович – студент 3 курса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: korotkov-artemiy@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Krivolapov Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: ivan0068@bk.ru.

Astapov Andrei – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: Astapow_a@mail.ru.

Aksenovsky Alexey – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noky2002@mail.ru.

Korotkov Artemy – 3rd year student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: korotkov-artemiy@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 18.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2019

УДК 634.10+633.4:681.70
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-17-22

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ

[1]Астапов Андрей Юрьевич
[1]Криволапов Иван Павлович
[1]Акишин Дмитрий Васильевич
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *От оптической зрелости плодов зависит их механическая прочность, интенсивность дыхания, продолжительность хранения. Представлен оптический метод определения зрелости плодов яблони с помощью комбинированной автоматизированной системы Amilon. Приведены результаты исследований по определению степени зрелости 3-ех сортов яблони двумя способами: по индексу йодкрахмальной пробы на основе сравнения окрашенных образцов с 5-и бальной шкалой, и на комбинированной системе Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0» компании Isolcell (Италия) с использованием цифровых методов анализа изображений. Объектами исследований являются сорта яблок Жигулевское, Лобо, Лигол выращенные в Первомайском районе Тамбовской области. Определение степени зрелости проводилось в день сбора плодов в сентябре 2019 года Проведенные по 5-и бальной шкале исследования показали, что плоды сорта Жигулевское имели степень зрелости в баллах 4,7 - 5,0 баллов, Лобо – 3,8 – 4,3), Лигол - 2,4 – 2,7. На длительное хранение рекомендовано закладывать плоды Лигол с максимальным потенциалом лежкости. Показаны преимущества определения степени зрелости плодов на приборе Amilon: простота и технологичность, высокая скорость проведения анализов и получения готовых данных, высокая точность определения, возможность получения информации о минимальных и максимальных показателях степени зрелости плодов в исследуемой партии. Комбинированная система Amilon позволяет проводить корректный анализ и может быть рекомендована для определения степени зрелости плодов яблони.*

Ключевые слова*: оптический метод, плоды, степень зрелости, индекс йодкрахмальной пробы, хранение.*

OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF MATURITY OF APPLE-FRUITS

[1]Astapov Andrey
[1]Krivolapov Ivan
[1]Akishin Dmitry
[1]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract*. Mechanical strength, respiratory rate, storage duration depends on the optical maturity of the fruit. An optical method for determining the maturity of apple fruits using the combined automated Amilon system is presented. The results of studies to determine the degree of maturity of 3 apple varieties in two ways: by the iodine starch index based on a comparison of stained samples with a 5-point scale, and on the combined Amilon system with Amilon 2.0 software from Isolcell (Italy) using digital image analysis methods are given. The objects of research are apple varieties Zhigulevskoe, Lobo, Ligol grown in the Pervomaisky district of the Tambov region. The degree of maturity was determined on the day of harvest in September 2019. Studies carried out on a 5-point scale showed that the fruits of the Zhigulevskoye variety had a maturity of 4.7 - 5.0 points, Lobo - 3.8 - 4.3), Ligol - 2.4 - 2.7. For long-term storage, it is recommended to lay the fruits of Ligol with the maximum potential for keeping quality. The advantages of determining the degree of fruit maturity on an Amilon device are shown: simplicity and manufacturability, high speed of analysis and obtaining ready-made data, high accuracy of determination, the ability to obtain information about the minimum and maximum indicators of the degree of fruit maturity in the test batch. The combined Amilon system allows for the correct analysis and can be recommended for determining the degree of ripeness of apple fruit*

Keywords*: optical method, fruits, maturity, iodine starch test index, storage.*

Введение. Важным показателем физиологического состояния плодов яблони, груши, томата и многих других плодовых культур является степень зрелости [1, 2]. От данного показателя зависит механическая прочность плодов, интенсивность дыхания, продолжительность хранения.

Исследованиями, проведенными в нашей стране и во многих странах за рубежом, установлены показатели, с различной степенью достоверности характеризующие степень зрелости плодов. Существуют различные способы и методы определения степени зрелости яблок, которые возможно разделить на несколько групп: расчетные, физиологические и физико-химические (инструментальные методы), сенсорные и др. [3, 4].

В настоящий момент разработаны современные приборы и методы, которые позволяют определить электрические и оптические показатели плодов яблони: электрическое сопротивление ткани, отражение света поверхностью плода, флуоресценсцию поверхности плода, колометрические методы. Перечисленные показатели отражают качество плодов. Они используются в качестве вспомогательных для определения сроков съема [2].

Колориметрические методы диагностики основаны на отражательной способности плодов. Данные методы отражены в государственных стандартах как мера по обеспечению соответствующей степени свежести, целостности, зрелости, вкуса, содержания питательных веществ и т.п. показателей.

Спектрофотометрический метод основан на явлении поглощения электромагнитного оптического излучения в зависимости от молекулярного состава объекта.

Биохимические и физико-химические (или инструментальные) методы основаны на косвенной или прямой констатации изменений протекающих в плодах в процессе их роста и развития. К распространенным биохимическим и физико-химическим методам относят определение сухих (или сухих растворимых) веществ, суммы и фракционного состав пектиновых веществ, титруемой кислотности, количества и состава сахаров, твердости, содержания хлорофилла, интенсивности дыхания, содержания этилена и другие [3]. Биохимические и физико-химические методы, как правило, более точны, и менее субъективны, чем расчетные и сенсорные. В практической работе с плодами яблони степень зрелости определяют обычно по индексу йодкрахмальной пробы (I/KI) [4].

К преимуществам метода следует отнести простоту и низкие материальные затраты на проведение, а к недостаткам - субъективизм при сравнении окрашенных образцов с 5-и или 8-и бальной шкалой.

Для повышения точности и объективности результатов определения степени зрелости (в том числе и по йодкрахмальной пробе) в нашей стране и за рубежом изучаются визуально-спектрофотометрические, неразрушающие оптические и другие более точные инструментальные методы определения [1, 3, 5].

В этой связи исследования, направленные на определение степени зрелости плодов по йодкрахмальной пробе с использованием новой системы Amilon (IsoIcell Италия), являются весьма актуальными.

Материалы и методы. Amilon – это комбинированная автоматизированная система с программным обеспечением «Amilon 2.0» для оценки созревания плодов яблони и груши с использованием крахмально-йодного теста. Внешний вид системы Amilon представлен на рисунке 1. Система состоит из устройства для закладки образцов плодов яблони, которые фотографируются спектральной фото-видеокамерой и переносного компьютера с программным обеспечением.

Основные преимущества данной системы – объективное и автоматизированное измерение гидролиза крахмала (стадия крахмала), как индекс зрелости в плодах яблок всех сортов.

Принцип работы прибора. Крахмальную стадию выделяют путем реакции с раствором йода-калия йодида. Средняя часть среза фрукта, обработанного таким образом плода фотографируется, затем изображение обрабатывается. Далее значение крахмала вычисляется и отображается для каждого отдельного среза и в среднем по образцу (максимум 12 штук на поддоне прибора). Значение крахмала может быть отображено в соответствии с обычно используемыми эталонными шкалами 1-10 (рекомендовано на международном уровне).

Процедура оценки плодов состоит из пяти простых шагов:

Образцы плодов, предварительно обработанные раствором йода, загружаются на красный лоток и помещаются в освещенную зону прибора.

Рисунок 1 – Внешний вид комбинированной автоматизированной системы Amilon (IsoIcell, Италия)

Образцы фотографируются камерой, полученные изображения переносятся в программу для дальнейшей обработки. В автоматическом режиме производится анализ полученного изображения исследуемых плодов и последующая их оценка по 10 (5) бальной шкале. Рассчитанный индекс крахмала отображается для каждого отдельного плода и может быть скорректирован пользователем. Результаты сохраняются в базе данных.

Результаты и их обсуждение. Исследования проводились в учебно-исследовательской лаборатории прогрессивных технологий хранения фруктов и овощей Мичуринского ГАУ. Объектами исследований являются сорта яблок Жигулевское, Лобо, Лигол выращенные в ОАО «Снежеток» Первомайского района Тамбовской области. Сбор плодов производился 11.09.2019 года. Определение степени зрелости проводилось в день сбора плодов двумя способами: по йодкрахмальной пробе [6] и на специально разработанном для этих целей приборе Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0» компании Isolcell (рисунок 2).

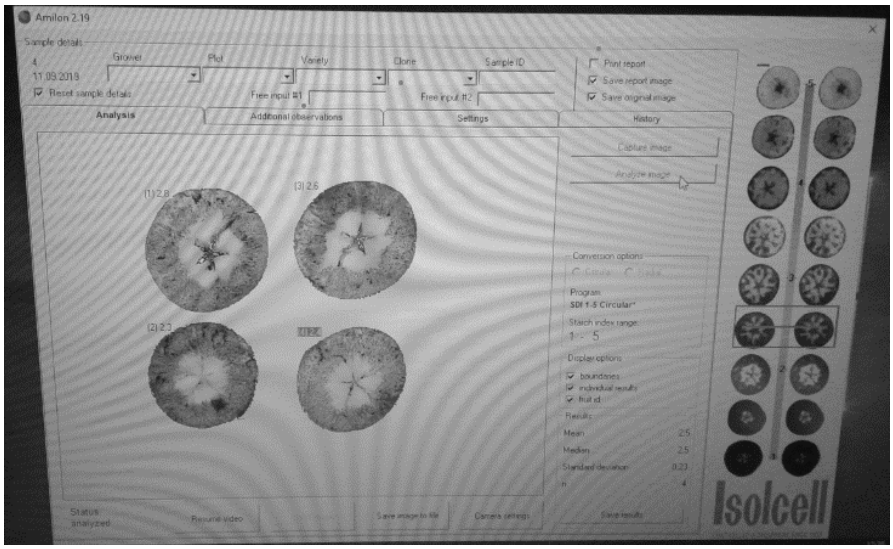


Рисунок 2 – Определения степени зрелости плодов яблони прибора Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0»

Для определения содержания крахмала в плодах готовили свежий раствор йода в йодистом калии (раствор Люголя): на 100 мл воды 4 г KJ и 1г J. Для исследований отбирали по 10 типичных плодов каждого сорта с размером по наибольшему поперечному диаметру не менее 40 и не более 100 мм. Отобранные плоды разрезали поперек семенной камеры и опускали срезом в раствор Люголя на 5-10 секунд. Избыток раствора удаляли фильтровальной бумагой и примерно через 3-5 минут сравнивали степень потемнения среза с 5-ти бальной шкалой. Определение проводили на одном и том же образце 5 подготовленных сотрудников лабораторий центра коллективного пользования Мичуринского ГАУ. Полученные каждым исследователем результаты сравнивали и рассчитывали среднее значение индекса I/KI. После визуального определения степени зрелости плодов производилась оценка тех же образцов на приборе Amilon.

Обработанные раствором йода и окрашенные плоды раскладывали на рабочую поверхность красного лотка обработанной поверхностью вверх. В процессе работы система Amilon сканирует область лотка в поисках округлых не красных форм и анализирует каждый плод отдельно, чтобы вычислить его индекс I/KI. Поэтому для получения достоверных результатов по каждому исследуемому образцу следили за тем, что бы при раскладке расстояние составляло не менее 0,7 см между соседними плодами и не менее 1 см по периметру красной рабочей области лотка. При нарушении правил размещения плодов на рабочей поверхности лотка система может дать сбой и выдать в качестве индекса I/KI среднее значение двух находящихся рядом образцов. Результаты анализа высвечиваются на дисплее монитора: средний индекс I/KI образца, интервал ошибок (или доверительный интервал) и стандартное отклонение показателя.

Сущность йодкрахмального метода заключается в особенностях крахмала в растворе йода давать сине-черное окрашивание. Гидролиз крахмала при созревании плода идет в направлении от центра к периферии и поэтому дольше всего крахмал сохраняется под гиподермой.

При проведении определения степени зрелости следует учитывать, что темпы накопления крахмала и последующего его гидролиза различаются по сортам. Кроме того, необходимо учитывать, что все известные сорта яблок имеют циркулярную или радиальную модель гидролиза. При определении степени зрелости по I/KI с использованием 5-и бальной шкалы пользовались критериями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние содержания крахмала на степень зрелости плодов по 5-и бальной шкале

Балл I/KI	Характер окрашивания поверхности среза	Состояние, степень зрелости	Пригодность к хранению
1	Вся поверхность среза от семенного гнезда до кожицы плода черно-синяя	Плод не дозрел	Не пригодны
2	Незначительные участки поверхности среза не окрашены, главным образом в области плодоножки и у семенного гнезда	Начальная фаза съемной зрелости*	Длительное хранение
3	Сердцевина светлая, просветы по всей поверхности среза, кроме подкожного слоя	Средняя и полная фаза съемной зрелости	
4	Темное окрашивание под кожицей и незначительное потемнение отдельных участков мякоти	Потребительская зрелость	Краткосрочное хранение
5	Незначительное потемнение поверхности среза только под кожицей плода	Полное созревание плода	Потребление

Результаты определения степени зрелости 3-ех изучаемых сортов по I/KI на основе 5-и бальной шкалы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение степени зрелости плодов по индексу I/KI по 5-и бальной шкале

Сорт	Индекс I/KI, балл						Пригодность к использованию по назначению
	Средние значения каждого исследователя					Среднее	
	1	2	3	4	5		
Жигулевское	4,9	4,7	4,9	4,8	5,0	4,9	Потребление
Лобо	4,1	3,8	4,3	4,1	4,2	4,1	Краткосрочное хранение
Лигол	2,4	2,7	2,4	2,6	2,7	2,6	Длительное хранение

Считается, что оптимальная степень зрелости для большинства сортов находится в интервале 2,5-3,5 балла (при определении по 5-и шкале) [6]. Проведенные по 5-и бальной шкале исследования показали, что плоды сорта Жигулевское имели степень зрелости от 4,7 до 5,0 баллов (среднее 4,9). Расхождения в показателях между исследователями составили +/- 0,3 балла. Индекс I/KI у плодов сорта Лобо колебался от 3,8 до 4,3 балла (среднее 4,1 балла). Расхождения составили +/- 0,5 балла. При определении степени зрелости у плодов сорта Лигол индекс I/KI колебался от 2,4 до 2,7 балла (среднее 2,6), при расхождениях в показателях проведенных разными исследователями +/-0,3 балла

Полученные данные позволяют сделать вывод, что плоды, убранные 11.09. 2019 года у разных сортов имели существенные различия по степени зрелости. Так, плоды сорта Жигулевское, (индекс I/KI-4,9 балла), следует отнести к полностью созревшим и для закладки на хранение не рекомендовать. Плоды в такой степени зрелости целесообразно направлять на реализацию немедленно или после кратковременного хранения. Средний индекс I/KI у плодов сорта Лобо составил 4,1 балла, что соответствует потребительской зрелости. У плодов такой степени зрелости потенциал лежкости не велик, поэтому такие плоды целесообразно направлять на реализацию после краткосрочного или среднесрочного хранения. На длительное хранение рекомендуется закладывать плоды со степенью зрелости 2,5-3,0 балла, потому что такие плоды обладают максимальным потенциалом лежкости. Полученные данные показывают, что по индексу I/KI плоды сорта Лигол имеют оптимальную степень зрелости -2,6 балла и по этому показателю могут быть рекомендованы для закладки на длительное хранение. После визуального определения степени зрелости по I/KI на основе 5-и бальной шкалы проводили определение на приборе Amilon.

Таблица 3 – Определение степени зрелости плодов по индексу I/KI на приборе Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0»

Сорт	Показания прибора			Интервал ошибок	Пригодность к использованию
	мини-мальное	макси-мальное	среднее		
Жигулевское	4,6	5,0	4,8	0,20	Потребление
Лобо	4,0	4,6	4,2	0,20	Краткосрочное хранение
Лигол	2,3	2,8	2,5	0,23	Длительное хранение

Результаты, представленные в таблице 3, показывают, что индексы I/KI полученные на приборе Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0» отличаются от данных полученных при визуальном определении с использованием 5-и бальной шкалы не более чем на 0,1 балла (таблица 2). Величина погрешности в определениях на приборе была не значительной и находилась в пределах 0,20-0,23.

Заключение. Комбинированная система Amilon с программным обеспечением «Amilon 2.0» компании Isolcell (Италия), с использованием цифровых методов анализа изображений, позволяет проводить корректный анализ и может быть рекомендована для определения степени зрелости плодов яблони.

Результаты работы системы Amilon отклоняются в пределах ±0,5 единицы крахмального индекса от результатов, полученных опытным специалистом.

Список литературы

1. Родиков С.А. Экспресс-диагностика зрелости яблок // Садоводство и виноградарство. – № 1. – 2001. – С. 9–12

2. Будаговская О.Н. Оптические методы диагностики зрелости и качества плодоовощной продукции // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – № 2. – 2011. – С. 83-91.

3. Будаговская О.Н., Будаговский А.В., Грошева Е.В. Использования параметров медленной индукция флуоресценции хлорофилла для недеструктивной оценки зрелости томатов и прогноза их лежкоспособности // Инновации в сельском хозяйстве: теоретич. и науч.- практ. журнал. – 2016. – № 3. – С. 287-293.

4. Гудковский В.А. Система сокращения потерь и сохранение качества плодов и винограда при хранении (Методические рекомендации). – Мичуринск, 1990. – 119 с.

5. Будаговский А.В., Акишин Д.В., Сутормина А.В., Будаговская О.Н., Гудковский В.А. Оптическая диагностика степени зрелости томатов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 11. – С. 30-33.

6. Целуйко Н.А. Определение срока съема плодов семечковых культур. – М.: «Колос», 1969. 72 с.

References

1. Rodikov S.A. Ekspress-diagnostika zrelosti yablok // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – № 1. – 2001. – S. 9–12

2. Budagovskaya O.N. Opticheskie metody diagnostiki zrelosti i kachestva plodoovoshchnoj produkcii // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – № 2. – 2011. – S. 83-91.

3. Budagovskaya O.N., Budagovskij A.V., Grosheva E.V. Ispol'zovaniya parametrov medlennoj indukciya fluorescencii hlorofilla dlya nedestruktivnoj ocenki zrelosti tomatov i prognoza ih lezhkosposobnosti // Innovacii v sel'skom hozyajstve: teoretich. i nauch.- prakt. zhurnal. – 2016. – № 3. – S. 287-293.

4. Gudkovskij V.A. Sistema sokrashcheniya poter' i sohranenie kachestva plodov i vinograda pri hranenii (Metodicheskie rekomendacii). – Michurinsk, 1990. – 119 s.

5. Budagovskij A.V., Akishin D.V., Sutormina A.V., Budagovskaya O.N., Gudkovskij V.A. Opticheskaya diagnostika stepeni zrelosti tomatov // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya. – 2014. – № 11. – S. 30-33.

6. Celujko N.A. Opredelenie sroka s"ema plodov semechkovyh kul'tur. – M.: «Kolos», 1969. 72 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Астапов Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: Astapow_a@mail.ru.

Криволапов Иван Павлович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: ivan0068@bk.ru.

Акишин Дмитрий Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск, e-mail: akishin@mgau.ru.

Author credentials

Affiliations

Astapov Andrei – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: Astapow_a@mail.ru.

Krivolapov Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: ivan0068@bk.ru.

Akishin Dmitry Vasilievich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: akishin@mgau.ru.

Поступила в редакцию (Received): 18.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2019

УДК 658.581:637.1.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29

ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕННОЙ МОЙКЕ ОБОРУДОВАНИЯ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

[1]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Матушкин Петр Алексеевич
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственныйаграрный университет»

Реферат. *Для представления о механизме мойки молокоперерабатывающего оборудования многокомпонентными и высокопенными моющими средствами, изучали силы поверхностного натяжения жидкости, которые присутствуют на поверхности оборудования после его смачивания и внутри самих пенных пузырьков. Определено, что способность моющего раствора эмульгировать молочный жир является решающим фактором мойки, поскольку от степени удаления загрязнений, содержащих жир, будет зависеть в дальнейшем смачивание очищенной от жира поверхности. Исследовали пять образцов многокомпонентных пенных моющих средств различных производителей: Процесс актив пенный, Калгонит 312, Шаумрайн, Термоклин и Зауэр. Исследования проводили на стали при температуре моющей жидкости 35 °С. Чистоту поверхности контролировали количеством мезофильно – аэробных и факультативно – анаэробных микроорганизмов (КМАФА и М) на 1 см^2 в величинах КОЕ/см^2 (количество образующих единиц колоний на 1 см^2). Наилучшие результаты показал Термоклин. На втором этапе с помощью цифрового микроскопа Kromatech 50-500 при пятидесятикратном увеличении, проводили наблюдения за действием ПАВ внутри нанесенной на поверхность объекта пены. При помощи Particle Track G600Bc технологией FBRM, было установлено, что наиболее мощным грязеотрывным действием обладают пузырьки диаметром 1 – 1,5 мм. Для более качественного очищения поверхности объекта мойки следует добиваться однородной устойчивой пены с диаметром пенного пузырька определенного размера для каждого вида загрязнения при помощи регулировок пенонаносящего устройства, а также технологии нанесения пенного раствора на поверхность (угол нанесения, расстояние, концентрация раствора).*

Ключевые слова: *поверхностное натяжение жидкости, поверхностно-активные вещества, мойка молочного оборудования, молекула, эмульгирование, пенный раствор*

THE EFFECT OF SURFACTANTS ON THE SURFACE TENSION OF THE LIQUID IN THE FOAM WASHING EQUIPMENT DAIRY INDUSTRIES

[1]Zavrazhnov Anatoly
[1]Matushkin Peter
[1]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract. *The forces of the surface tension of the liquid, which are present on the surface of the equipment after it has been wetted and inside the foam bubbles themselves, were studied to understand the mechanism of washing milk processing equipment with multicomponent and high-foam detergents. It was determined that the ability of a washing solution to emulsify milk fat is a decisive factor in washing, since in the future the wetting of a surface cleared of fat will depend on the degree of removal of contaminants containing fat. Five samples of multicomponent foam detergents of various manufacturers were investigated: the active foam process, Kalgonit 312, Shaumrain, Termoklin and Sauer. Studies were carried out on steel at a temperature of the washing liquid of 35 ° C. The surface cleanliness was controlled by the number of mesophilic - aerobic and facultative - anaerobic microorganisms (KMAFA and M) per 1 cm2 in the values of CFU / cm^2 (the number of colony forming units per 1 cm^2). Thermocline showed the best results. Observation of the action of surfactants inside the foam deposited on the surface of the object was carried out in the second stage using a Kromatech 50-500 digital microscope with a magnification of fifty times. Using Particle Track G600B with FBRM technology, it*

was found that bubbles with a diameter of 1-1.5 mm have the most powerful mud separation effect. A uniform stable foam with a diameter of a foam bubble of a certain size for each type of contamination with the help of adjustments of the foam carrier, as well as the technology of applying the foam solution to the surface (application angle, distance, concentration of the solution) should be achieved for better cleaning of the surface of the washing object.

***Keywords**: liquid surface tension, surfactants, washing of dairy equipment, molecule, emulsification, foam solution*

Введение. Качество и безопасность молока и продуктов его переработки напрямую зависят от чистоты доильно-молочного оборудования. На молокоперерабатывающих предприятиях распространена пенная мойка [1]. Загрязнения прилипают к поверхности оборудования в основном за счет сил адгезии. Ослабить эти силы может только правильно подобранные ПАВ (поверхностно активные вещества) в составе моющего средства, так как эффект поверхностного натяжения мешает компонентам моющего средства оторвать частицы загрязнения от поверхности материала.

К вызываемым поверхностным натяжением эффектам мы настолько привыкли, что не замечаем их. Однако в природе и повседневной жизни они играют немалую роль. Без них невозможно было бы писать чернилами. Обычная ручка не зачерпнула бы чернил из чернильницы, а автоматическая сразу же поставила бы большую кляксу, опорожнив весь свой резервуар. Нельзя было бы намылить руки, потому что не происходило бы образование пены.

Проще всего уловить характер сил поверхностного натяжения, наблюдая образование капли у плохо закрытого или неисправного крана - капля постепенно растет, образуется сужение — шейка, и капля отрывается. Вода как бы заключена в эластичный мешочек, и этот мешочек разрывается, когда его прочность становится недостаточной для удержания большой массы воды. В действительности, конечно, никакого мешочка нет, но сам поверхностный слой воды ведет себя как растянутая эластичная пленка. Для количественной оценки силы поверхностного натяжения вводят величину, которую называют коэффициентом поверхностного натяжения (или поверхностным натяжением) [2].

Коэффициент поверхностного натяжения (α) представляет собой скалярную физическую величину, равную отношению модуля силы поверхностного натяжения F, действующей на границу поверхностного слоя длиной l, к этой длине:

$$\alpha = \frac{F}{l}.$$

Поверхность жидкости стремится сократиться так, чтобы площадь ее поверхности стала минимальной. Молекулы жидкости, притягиваемые друг к другу силами межмолекулярного притяжения, стремятся сблизиться. Каждая молекула на поверхности притягивается остальными молекулами, находящимися внутри жидкости, и поэтому имеет тенденцию к погружению вглубь. Так как жидкость текуча из-за перескоков молекул из одного положения в другое, то она принимает такую форму, при которой число молекул на поверхности минимально, то есть площадь поверхности минимальна. А минимальную поверхность при данном объеме имеет шар. Площадь поверхности жидкости уменьшается, и воспринимается это как поверхностное натяжение.

С эффектом поверхностного натяжения жидкости приходится сталкиваться и при выборе средств для мойки молочного оборудования, так как поверхностное натяжение мешает качественно отмыть ту или иную поверхность. Другими словами - это натяжение следует уменьшить либо совсем свести к нулю.

Поверхностное натяжение существенно зависит от примесей, имеющихся в жидкостях. Наиболее известным ПАВ относительно воды является мыло. Оно значительно уменьшает ее поверхностное натяжение (примерно с $7{,}5\cdot10^{-2}$ до $4{,}5\cdot10^{-2}$ Н/м). Относительно воды поверхностно-активными являются эфиры, спирты, нефть т.д.

Влияние поверхностно-активных веществ объясняется тем, что силы притяжения между молекулами жидкости больше, чем силы притяжения между молекулами жидкости и примеси. Молекулы жидкости в поверхностном слое с большей силой втягиваются внутрь жидкостей, чем молекулы примеси. В результате этого молекулы жидкости переходят с поверхностного слоя

вглубь ее, а молекулы поверхностно-активного вещества вытесняются на поверхность. Способность моющего раствора эмульгировать молочный жир является решающим фактором мойки, поскольку от степени удаления загрязнений, содержащих жир, будет зависеть в дальнейшем смачивание очищенной от жира поверхности [3].

Эмульгирование жира основано на действии капиллярно активных веществ моющего раствора. Они вызывают снижение поверхностного натяжения на границе раздела фаз. Капиллярно активные вещества, равномерно проникая в виде мономолекулярной пленки между твердой поверхностью и загрязнением, отделяют их друг от друга. Вследствие стремления поверхностно-активных веществ к уменьшению поверхности частицы загрязнений максимально раздробляются и обволакиваются как бы пленкой, переводя жировые шарики в моющий раствор.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования были взяты пять образцов многокомпонентных пенных моющих средств различных производителей, а именно: Процесс актив пенный, Калгонит 312, Шаумрайн, Термоклин и Зауэр.

Принято использовать многокомпонентное пенное средство Термоклин (ООО «СИКМО», Россия). В качестве объекта исследования была выбрана тарелка сепаратора Ж5-ОС2-НС, изготовленная из нержавеющей стали AISI 304 и имеющая форму конуса (Рисунок 1). Исследования проводились внутри производственного помещения с температурой окружающей среды 30^0С, относительной влажности воздуха – 65%. Орудием для нанесения пенных моющих средств выбран автономный пеногенератор. Так как производители пенных моющих средств рекомендуют наносить свой продукт при температуре моющего раствора 30 – 40^0С, то выбираем среднее значение, то есть. – 35^0С.[4].

Рисунок 1 – Тарелки сепаратора после нанесения пены.

Смачивание поверхности и ее ополаскивание производилось давлением до 3 кг/см^2, нанесение пены осуществлялось под давлением 1,9 кг/см^2. Пенный раствор наносился на объект исследования пистолетом – распылителем с расстояния 1,2 м, смывание пены и загрязнений – с расстояния 700-800 мм под углом 30◦ к поверхности.

Чистота поверхности определялась количеством мезофильно – аэробных и факультативно – анаэробных микроорганизмов (КМАФА и М) на 1 см^2 в величинах КОЕ/см^2 (количество образующих единиц колоний на 1см^2) [5].

Исследования проводились в соответствии с ВНТП 645/1618 – 92 «Нормы технологического проектирования предприятий молочной промышленности» и «Инструкцией по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях молочной промышленности» [6,7].

На первом этапе исследования проводилось смачивание объекта, заключающееся в растекании капли жидкости по очищаемой поверхности. Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого вещества, жидкость смачивает это вещество.

Рисунок 2 – Схема смачивания твердого тела.

Смачивание можно характеризовать краевым углом θ – углом между плоской поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости, проходящей через точку, лежащую на границе свободной поверхности (рис. 2). Если жидкость смачивает твердое вещество, то краевой угол острый, если не смачивает – тупой.

Обычно мерой смачивания служит косинус краевого угла, который положителен в случае, когда жидкость смачивает твердое вещество, и отрицателен, когда не смачивает. При полном смачивании, $\cos\theta = 1$, в этом случае жидкость растекается по всей поверхности твердого тела. При полном несмачивании $\cos\theta = -1$, капля жидкости на горизонтальной поверхности в этом случае должна иметь форму шара. Вещества, способствующие смачиванию водой, называются гидрофильными, а вещества, отталкивающие воду и способствующие растворению масел, жира и т.д., — гидрофобными.

Основой моющих веществ являются поверхностно-активные вещества - ПАВ, задача которых очистить от грязи поверхность. Молекула ПАВ состоит из двух частей: гидрофильной и гидрофобной. Гидрофобная часть молекулы способствует проникновению ПАВ в микротрещины (обеспечивает смачиваемость поверхности), а гидрофильная, ориентированная в сторону водного раствора, понижает поверхностное натяжение воды.

Результаты и обсуждение. Как показали предварительные исследования наиболее высокую отмывающую способность имеют детали, выполненные из нержавеющей стали. В связи с этим сравнение моющих пенных растворов проводилось на деталях из стали при температуре моющей жидкости 35°С.

Таблица 1 – Результаты исследований на чистоту поверхности после отмыва

№ п/п	Название моющего средства	Показания КМАФАиМ, КОЕ/см^2
1	Зауэр	21
2	Шаумрайн	42
3	Калгонит 312	58
4	Термоклин	19
5	Процесс актив пенный	25

Как видно из показателей наилучший результат показал моющий пенный раствор Термоклин. Поэтому в дальнейшем все исследования проводили с раствором Термоклин.

На втором этапе с помощью цифрового микроскопа Kromatech 50-500 при пятидесятикратном увеличении, проводились наблюдения за действием ПАВ внутри нанесенной на поверхность объекта пены (рисунок 3).

В результате изучения фотографии представленной на рисунке 3, было выявлено, что при нанесении пены на обрабатываемую поверхность за счет кинетической энергии и сил поверхностного натяжения пузырьков пены происходит отрыв части твердых частиц загрязнений от поверхности. Выделяющаяся из пены жидкость при разрушении ближайшего к поверхности детали слоя пузырьков смачивает поверхность. Частицы загрязнений в результате перетекания жидкости из участков пленки пены отрываются от поверхности и концентрируются в утолщенных участках пленок (данное явление обозначено маркером на рисунке 3). Некоторая доля частиц оказывается втянутой в пену на высоту 1-3 пузырьков. В дальнейшем отрыву частиц и втягиванию их в пену способствует помимо капиллярного эффекта также разрушение отдельных пленок [8].

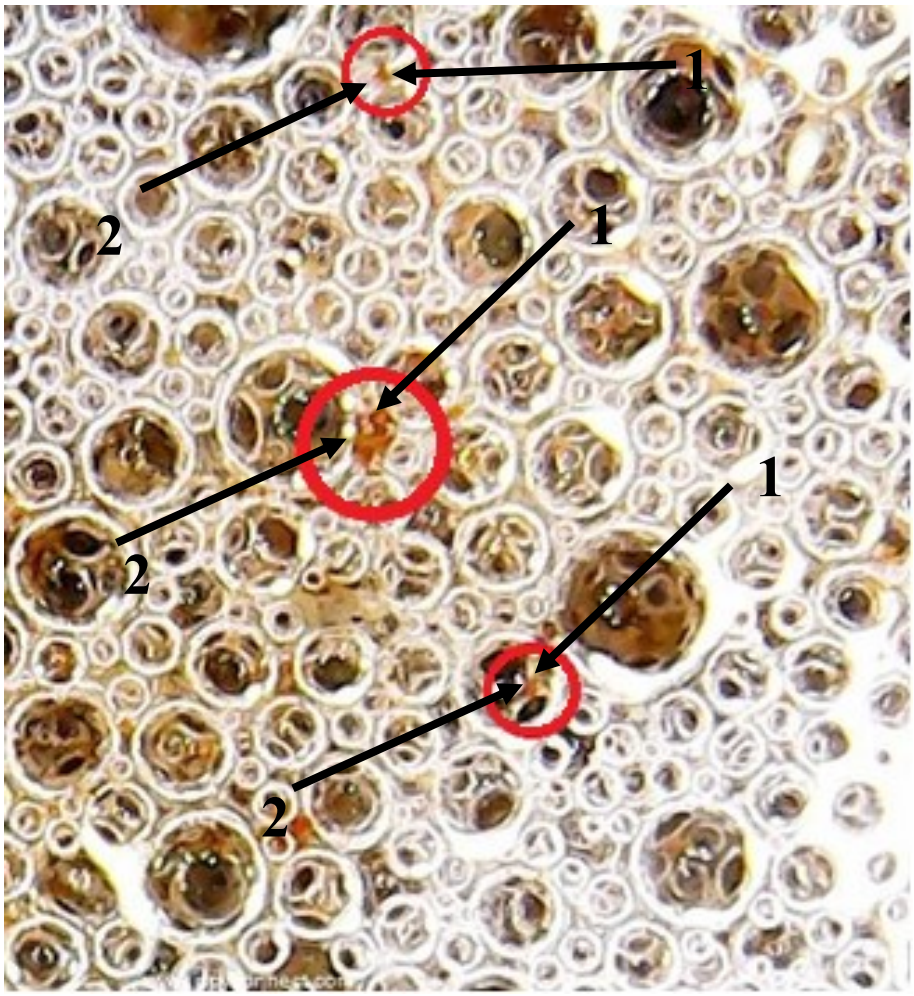


Рисунок 3 – Исследование действия ПАВ внутри пенного раствора

Эффект всасывания частиц загрязнения внутрь пены значительно усиливается при механическом перемешивании нижних ее слоев, содержащих большое число частиц, с верхними слоями. В процессе распада пены за счет большого капиллярного давления в ней возникает дополнительное механическое воздействие на загрязнения, что повышает эффективность очистки. Грязеудерживающая способность пен снижает возможность повторного оседания оторванных от поверхности частиц загрязнения [9].

Изучая рисунок 3 более тщательно, можно заметить что отрыв частиц загрязнений происходит не в пузырьках большого размера 5 – 6 мм, а наоборот, больший эффект дают пузырьки меньшего диаметра. При помощи ParticleTrack G600Bc технологией FBRM (прибор в режиме реального времени определяет размер частиц), было установлено, что наиболее мощным грязеотрывным действием обладают пузырьки диаметром 1 – 1,5 мм. Полученные данные говорят о том, что для более качественного очищения поверхности объекта мойки следует добиваться однородной устойчивой пены с диаметром пенного пузырька определенного размера для каждого вида загрязнения.

После изучения действия ПАВ во внутреннем слое пенного раствора, была изучена наружная поверхность пены (рисунок 4).

Из данных, представленных на рисунке 4, видно, что на наружной поверхности пенного раствора появились темные вкрапления.

Рисунок 4 – Наружная поверхность пенного раствора

Этими вкраплениями является та самая грязь, оторванная от поверхности объекта мойки. Данное явление происходит в результате ослабления поверхностного натяжения жидкости в пенном пузырьке при воздействии ПАВ. Загрязнения, преодолевая поверхностное натяжение, всасываются в пену и в результате их движения вверх, происходит микровзрыв пенного пузырька и оторванная от поверхности частица загрязнения осаждается на поверхности пены, не давая ей опустится обратно, предотвращая повторное обсеменение поверхности.

Выводы: На основании проведенных исследований установлено, что для мойки молочного оборудования с использованием пенной технологии, необходимо снизить поверхностное натяжение жидкости при помощи ПАВ, что способствует наилучшему грязеотрывающему эффекту. При использовании высокопенных моющих средств следует добиваться определенного диаметра пенных пузырьков в пределах 1 – 1,5 мм, что осуществляется при помощи регулировки давления нанесения пены, а также расстояния между пистолетом и объектом мойки.

Список литературы

1. Матушкин П.А., Завражнов А.И. Особенности исследования процесса мойки молочного оборудования с использованием пены // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.2017.№ 2. С. 125 – 129.

2. Букова С.Н., Ворончихина Л.И. Моющая способность синергических смесей поверхностно-активных веществ. /Тезисы докладов У111 конференции // "Поверхностно-активные вещества и сырье для их производства". Белгород. Из-во "Везелица". – 1992. – С 112-113.

3. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение, (пер. с англ.). С-Пб.: Профессия. 2005. 240 с.

4. Матушкин П.А., Завражнов А.И. Обоснование технологических параметров процесса мойки молочного оборудования применяемого в сельскохозяйственном производстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – том 12 – С. 100-107.

5. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы. СанПин 2.3.2. 1078 – 1.-М.: ФГУП «Интер СЭН», - 2002. – 168с.

6. Инструкция по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях молочной промышленности: Издание официальное / Ж.И. Кузина, Б.В. Маневич, - М.:ВНИМИ. 1998. – 108с.

7. Кузина Ж.И., Маневич Б.В., Харитонова Е.Б., Орлова Т.В., Гаврилова Н.А. Обоснование выбора ПАВ при создании высокощелочных моющих средств // Переработка молока. – 2018. – №5 (223). – С. 26-28.

8. Дегтярев Г.П. Механизм образования и классификация загрязнений, образующихся на поверхности молочного оборудования // Молочная промышленность. – №6. – 1999. – С.35-37.

9. Кирюткин Г.Ф., Молочников В.В. Мойка и дезинфекция технологического оборудования предприятий молочной промышленности. — М.: Пище-промиздат. 1976. 120 с

Referencts

1. Matushkin P.A., Zavrazhnov A.I. Osobennosti issledovaniya processa mojki molochnogo oborudovaniya s ispol'zovaniem peny// Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.2017.№ 2. S. 125 – 129.

2. Bukova S.N., Voronchihina L.I. Moyushchaya sposobnost' sinergicheskih smesej poverhnostno-aktivnyh veshchestv. /Tezisy dokladov U111 konferencii // "Poverhnostno-aktivnye veshchestva i syr'e dlya ih proizvodstva". Belgorod. Iz-vo "Vezelica". – 1992. – S 112-113.

3. Lange K.R. Poverhnostno-aktivnye veshchestva. Sintez, svojstva, analiz, primenenie, (per. s angl.). S-Pb.: Professiya. 2005. 240 s.

4. Matushkin P.A., Zavrazhnov A.I. Obosnovanie tekhnologicheskih parametrov processa mojki molochnogo oborudovaniya primenyaemogo v sel'skohozyajstvennom proizvodstve // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – tom 12 – S. 100-107.

5. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyh produktov. Sanitarno – epidemiologicheskie pravila i normativy. SanPin 2.3.2. 1078 – 1.-M.: FGUP «Inter SEN», - 2002. – 168s.

6. Instrukciya po sanitarnoj obrabotke oborudovaniya, inventarya i tary na predpriyatiyah molochnoj promyshlennosti: Izdanie oficial'noe / ZH.I. Kuzina, B.V. Manevich, - M.:VNIMI. 1998. – 108s.

7. Kuzina ZH.I., Manevich B.V., Haritonova E.B., Orlova T.V., Gavrilova N.A. Obosnovanie vybora PAV pri sozdanii vysokoshchelochnyh moyushchih sredstv // Pererabotka moloka. – 2018. – №5 (223). – S. 26-28.

8. Degtyarev G.P. Mekhanizm obrazovaniya i klassifikaciya zagryaznenij, obrazuyushchihsya na poverhnosti molochnogo oborudovaniya // Molochnaya promyshlennost'. – №6. – 1999. – S.35-37.

9. Kiryutkin G.F., Molochnikov B.B. Mojka i dezinfekciya tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatij molochnoj promyshlennosti. — M.: Pishche-promizdat. 1976. 120 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.

Матушкин Петр Алексеевич – аспирант кафедры технологических процессов и техносферной безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск.

Author credentials

Affiliations

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

Matushkin Petr – Postgraduate Student of Department of Technological Processes and Technosphere Safety of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 25.11.2019

УДК 631.3.03
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-30-35

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ КАСКАДНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

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

Реферат. *Теоретически и экспериментально исследованы возможности сокращения вертикальных габаритов авторегулируемых делителей жалюзийного типа за счет горизонтального и каскадного размещения выводных отверстий. Предпосылки обоснованности указанных выше решений обусловлены пониженными расходными характеристиками зерна через щелевые отверстия в вертикальных стенках, что увеличивает вертикальные габариты стабилизирующей емкости. Установлено, что жалюзийные делители с горизонтальным размещением выводных отверстий при подаче зерна в диапазоне 3-7 кг/с к задней стенке и минимальном отклонении по ширине дают погрешность деления 0-10,4%. Для делителей с каскадным размещением выводных отверстий наибольшие показатели погрешности деления наблюдаются в случаях, когда поток зерна подается к передней стенке. С ростом подачи погрешность деления уменьшается, а усредненное значение этого показателя даже в наиболее неблагоприятном варианте загрузки стабилизирующей емкости не превышает 21%. Экспериментально подтверждено, что для повышения качества деления потока зерна каскадным делителем необходимо уменьшить ширину стабилизирующей емкости до ширины отводящих каналов, чтобы застойные зоны зерна у передней стенки стабилизирующей емкости были исключены − минимизировано влияние на асимметрию потока. В случае подачи зерна к дальней стенке стабилизирующей емкости погрешность деления не превышает 7,4% и уменьшается с ростом подачи до 0-1,74%. Смещение подачи зерна в стабилизирующей емкости в поперечном направлении относительно истекающего потока ухудшают показатели качества деления, но они улучшаются с ростом подачи.*

Ключевые слова: *делитель потока зерна, качество деления, зерноочистительные технологии, подача, расходные характеристики.*

STUDY OF QUALITY OF WORK OF THE CASCADE DIVIDER OF THE FLOW OF THE BULK MATERIAL

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

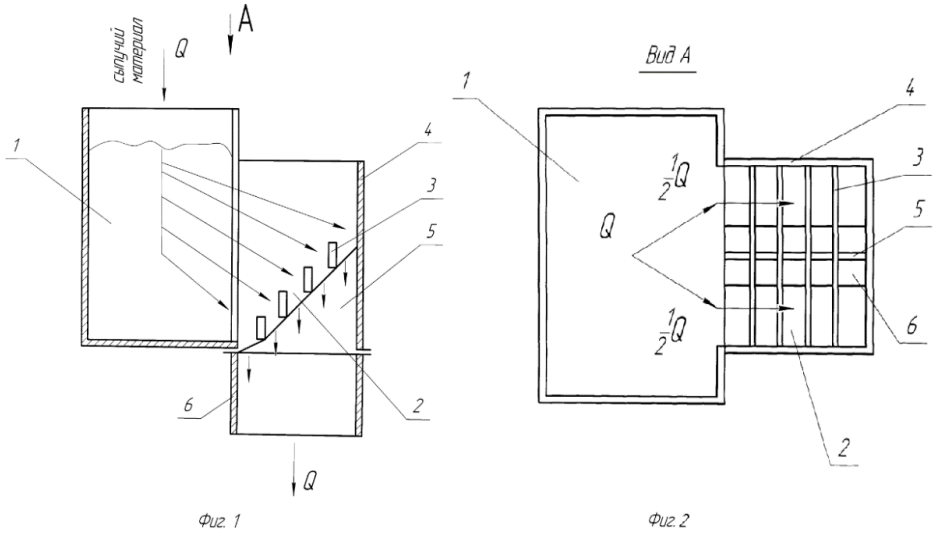
Abstract. *The possibilities of reducing the vertical dimensions of automatic dividing shutters of the louvre type due to the horizontal and cascade placement of the outlet openings have been studied theoretically and experimentally. The prerequisites for the validity of the above solutions are due to reduced flow characteristics of the grain through slotted holes in the vertical walls, which increases the vertical dimensions of the stabilizing capacity. It was found that louvre dividers with horizontal placement of the outlet openings when feeding grain in the range of 3-7 kg / s to the rear wall and the minimum deviation in width give a division error of 0-10.4%. The highest indices of division error are observed for dividers with cascading placement of outlet openings in cases when the grain flow is supplied to the front wall. The division error decreases with increasing feed, and the average value of this indicator even in the most unfavorable variant of stabilizing capacity loading does not exceed 21%. It has*

been experimentally confirmed that it is necessary to reduce the width of the stabilizing tank to the width of the outlet channels to improve the quality of the grain flow division by a cascade divider, so that the stagnant grain zones at the front wall of the stabilizing tank are eliminated - the effect on flow asymmetry is minimized. The division error does not exceed 7.4% and decreases with increasing feed to 0-1.74% in the case of feeding grain to the far wall of the stabilizing tank. The bias of the grain supply in the stabilizing tank in the transverse direction relative to the outflowing flow degrades the quality of division, but they improve with increasing feed.

Keywords: *grain flow divider, division quality, grain cleaning technologies, feed, consumable characteristics.*

Ведение. Существующие устройства [1-4] для управления массовыми потоками зерна в зерноочистительных технологиях малоэффективны или имеют сложную конструкцию. Нами впервые были созданы специальные устройства − авторегулируемые делители [5]. Наиболее простыми по конструктивному исполнению и дешевыми в производстве являются авторегулируемые делители жалюзийного типа [6]., однако применительно к реальным расходным характеристикам существующих зерноочистительных агрегатов авторегулируемые делители этого вида имеют завышенные вертикальные габариты, что ограничивает их использование при модернизации технологий. Причиной увеличения вертикальных габаритов делителей с ростом расходных характеристик является пониженный расход зерна через щелевые отверстия в вертикальной стенке. Возможности снижения вертикальных габаритов авторегулируемых делителей жалюзийного типа связаны с каскадным или горизонтальным размещением выводных каналов, которые обеспечивают более высокие удельные расходные характеристики. Теоретическое и экспериментальное обоснование этих вариантов решений представляют собой актуальную задачу.

Результаты и их обсуждение. Морфологический анализ [1] показал возможность создания делителя с каскадным размещением щелевых отверстий. Схема такого устройства показана на рисунке 1.



1 - стабилизирующую емкость; 2 - отводящие каналы; 3 – планки; 4 – корпус; 5 - вертикальная перегородка; 6 - патрубки.

Рисунок 1 – Схема делителя с каскадным размещением щелевых отверстий

Делитель работает следующим образом. В стабилизирующую емкость 1 подается зерно и по мере накопления в ней отводится в полость корпуса 4. При увеличении подачи зерна в стабилизирующую емкость 1 увеличивается число включенных в работу отводящих каналов 2, через которые истекает зерно, и возрастают расходные характеристики патрубков 6. При

уменьшении подачи зерна в стабилизирующую емкость 1 число включенных в работу отводящих каналов и расходные характеристики патрубков 6 уменьшается. Таким образом, осуществляется процесс авторегулирования и поддержания стабилизирующего слоя зерна в диапазоне, исключающем сводообразование.

Установка вертикальной перегородки 5 симметрично относительно корпуса 4 (с делением живого сечения отводящих каналов 2 на равные части) обеспечивает равные величины расходов через патрубки 6 при заполненном истечении зерна из последовательно включаемых в работу отводящих каналов 2. Планки 3 не препятствуют отводу зерна из стабилизирующей емкости 1, а отводящие каналы 2, образуемые верхней кромкой предыдущей планки 3 в восходящем каскаде и нижней кромкой последующей, расположены вертикально, что обеспечивает кратное увеличение расходных характеристик при их равных геометрических параметрах. При увеличении расходных характеристик через отводные каналы делителя создаются предпосылки уменьшения его габаритов, материалоемкости и расширения области применения.

Исследования каскадного делителя показывают меньшую погрешность деления в сравнении с делителем потока зерна с горизонтальным размещением отверстий и не превышает 21 % (у делителя с горизонтальным размещением превышает 150 %), рисунок 2.

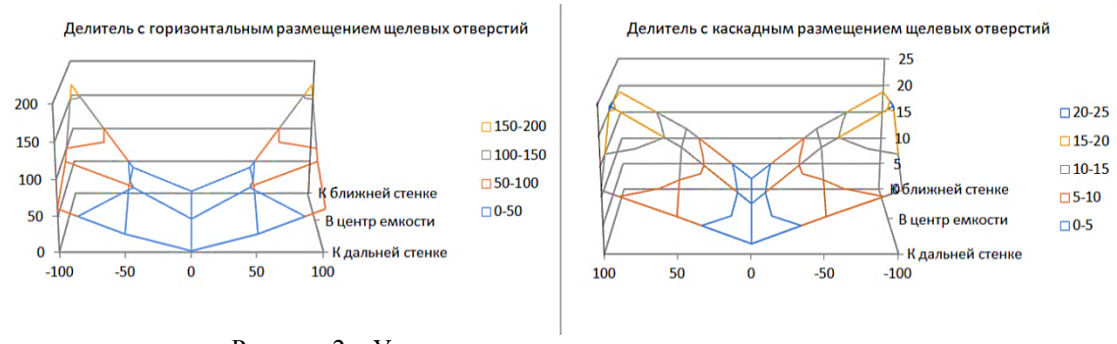


Рисунок 2 – Усредненные значения погрешности деления
при различных положениях подачи зерна в стабилизирующую емкость

Усредненные значения погрешности деления вычислялись при изменении подачи зерна от 1,5 кг/с до 7 кг/с в различные точки стабилизирующей емкости:

$$\Delta_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{6} \Delta_i}{6}, \quad (1)$$

где Δ_i – погрешность деления при различных значениях подачи $П_i$.

С увеличением подачи погрешность деления заметно снижалась (как и в случае с горизонтальным размещением отверстий). Тем не менее, из рисунка 2 видно, что каскадное расположение щелевых отверстий предпочтительнее горизонтального. Погрешность деления возрастает, когда поток зерна упирается в ближнюю стенку, рисунок 3.

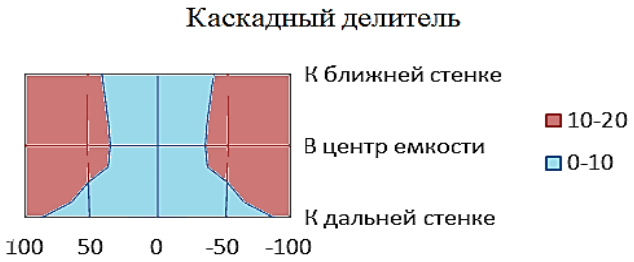


Рисунок 3 – Усредненное значение погрешности деления (вид сверху)

Поэтому, для улучшения качества деления ширина стабилизирующей емкости была ограничена до ширины отводов, рисунок 4.

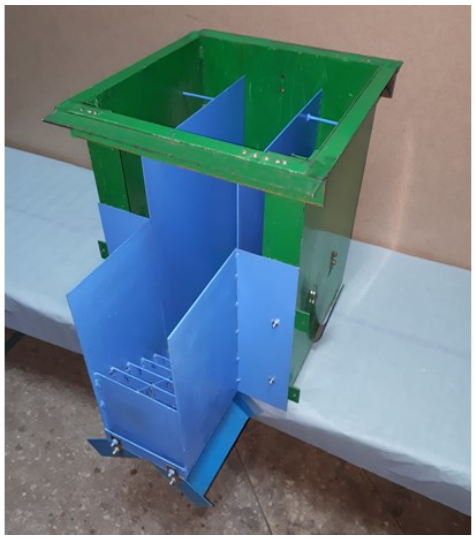


Рисунок 4 – Каскадный делитель с ограничителями ширины стабилизирующей емкости

Делитель с ограничителями ширины исследовался при асимметричной подаче зерна по длине стабилизирующей емкости, рисунок 5.

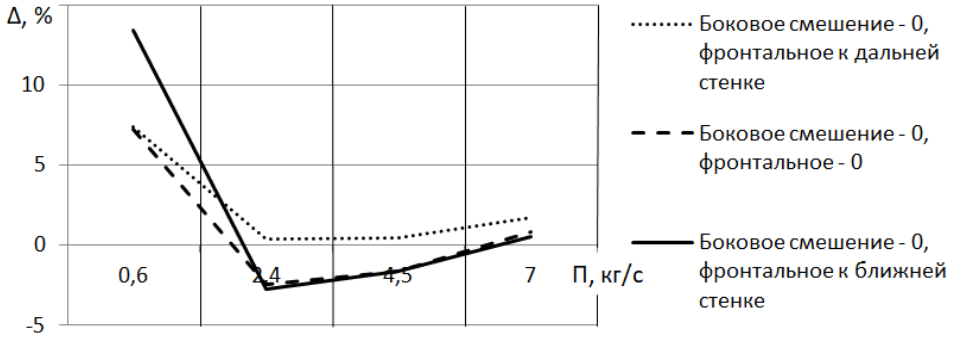


Рисунок 5 – Зависимость погрешности деления от величины подачи
и ее смещения по длине стабилизирующей емкости

Как видно из рисунка 5 подача зерна к дальней стенке дает меньшую погрешность деления (7,4% против 13,4%) и уменьшается с увеличением подачи. Уменьшение ширины стабилизирующей емкости и отводов до 100 мм улучшает качество деления. Самое большое значение погрешности деления наблюдается при низкой подаче зерна к ближней стенке (6,3%), рисунок 6.

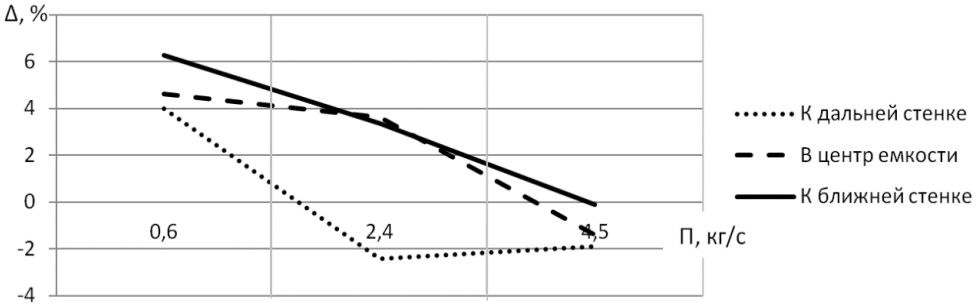


Рисунок 6 – Зависимость погрешности деления от величины подачи и смещения
(при ширине емкости 100 мм)

Причем, усредненное значение погрешности деления каскадного делителя с шириной 100 мм равно 2,85%. Поэтому основной рекомендацией при проектировании каскадного делителя будет: направление подачи зерна к дальней стенке стабилизирующей емкости и ограничение ее ширины и ширины отводящих каналов до 100 мм.

Заключение. Проведенные исследования показали, что каскадное размещение щелевых отверстий существенно предпочтительней горизонтального. Наибольшая погрешность деления наблюдается при асимметричной подаче, когда поток зерна упирается в переднюю стенку. При ограничении ширины стабилизирующей емкости до ширины отводов погрешность деления в диапазоне подач 1,5-7 кг/с не превысила 5%, и с увеличением подачи уменьшалась до 0-1,74%. Уменьшение ширины стабилизирующей емкости и отводящих каналов до 100 мм снижает максимальные значения погрешности деления с 13,4% до 6,3%.

Список литературы

1. Bohnet M. Mechanische Verfahrenstechnik – Weinheim: WILEY-VCH Verlag Gmb H & Co. KGaA, 2004. – 270 s.

2. Пат. 2415070 Российская Федерация, МПК C1, 2415070/13. Адаптивный делитель потока сыпучего материала // Кузнецов В.В., Востриков П.С., Извеков Е.А. – 2009145228/11; заявл. 07.12.2009; опубл. 27.03.2011. Бюл. № 9.

3. Пат. 2326043 Российская Федерация, МПК C1, 2326043/13. Устройство для разделения потока сыпучего материала // Кузнецов В.В., Извеков Е.А., Востриков П.С. – 2006143914/11; заявл. 11.12.2006; опубл. 10.06.2008. Бюл. № 16.

4. А.С. 1142388. Устройство для разделения потока сыпучего материала // Гаврилова Е.И., Куприянова Л.Г., Родкин Б.Ш., Штительман Б.А. – 3569953/27–11; заявл. 31.03.83; опубл. 28.05.85. Бюл. № 8.

5. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Многоканальные делители потока зерна // Сельский механизатор. − 2015. − № 8. − С. 40.

6. Пат. 2459405 Российская Федерация, МПК C1, A01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. - 2011110258/13; заявл. 17.03.2011; опубл. 27.08.2012. Бюл. № 24.

References

1. Bohnet M. Mechanische Verfahrenstechnik – Weinheim: WILEY-VCH Verlag Gmb H&Co. KGaA, 2004. – 270 s.

2. Pat. 2415070 Rossijskaya Federaciya, MPK S1, 2415070/13. Adaptivnyj delitel' potoka sypuchego materiala // Kuznecov V.V., Vostrikov P.S., Izvekov E.A. – 2009145228/11; zayavl. 07.12.2009; opubl. 27.03.2011. Byul. № 9.

3. Pat. 2326043 Rossijskaya Federaciya, MPK S1, 2326043/13. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchego materiala // Kuznecov V.V., Izvekov E.A., Vostrikov P.S. – 2006143914/11; zayavl. 11.12.2006; opubl. 10.06.2008. Byul. № 16.

4. A.S. 1142388. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchego materiala // Gavrilova E.I., Kupriyanova L.G., Rodkin B.SH., SHtitel'man B.A. – 3569953/27–11; zayavl. 31.03.83; opubl. 28.05.85. Byul. № 8.

5. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Mnogokanalnie deliteli potoka zerna // Selskii mehanizator. − 2015. − № 8. − S. 40.

6. Pat. 2459405 Rossijskaya Federaciya, MPK S1, A01F12/46. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Tishaninov K.N. - 2011110258/13; zayavl. 17.03.2011; opubl. 27.08.2012. Byul. № 24.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Анашкин Александр Витальевич – 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 Константин Николаевич – 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: TishaninovKN@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Anashkin Alexander – 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 Konstantin - 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: TishaninovKN@rambler.ru

Поступила в редакцию (Received): 28.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 02.12.2019

УДК 637.116
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-35-42

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОИЛЬНЫХ РОБОТОВ

[1]Доровских Владимир Иванович
[1]Жариков Вадим Сергеевич

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

Реферат. *Изучали использование дольных роботов, выявили основные преимущества и недостатки их применения. Выявили, что доение роботами благотворно сказывается на молокоотдаче: у 64% коров средняя интенсивность молоковыведения превышает 2 л/мин, а у 27 % она выше 3 л/мин. Установили специфику использование доильных роботов в России: отсутствие отечественных роботизированных систем, поэтому затраты на их эксплуатацию до 600 тыс. рублей в год на одного робота; низкий уровень оплаты труда у рабочих в животноводстве; большое разнообразие морфологических и функциональных свойств вымени у отечественных коров. Исследования проводили с использованием компьютерной программы T4C, которая формируется на основе информации от различных датчиков, установленных в узлах робота. Определили, что адаптация коров к роботизированному доению происходит в течение 5 - 15 дней. Суточный удой возрастает у всех коров в 1,5 - 4 раза. Интенсивность молоковыведения увеличивается в 0,6 – 5,0 раз и стабилизируется е в течение 5 - 15суток. Было осуществлено ранжирование коров по средней интенсивности молоковыведения с интервалом 0,5 л/мин. Установлено, что суточный удой с увеличением интенсивности молоковыведения до 2,0 л/мин повышается и далее устанавливается на уровне 26 - 30 л/мин. С увеличением интенсивности молоковыведения время доения коров снижается. У легкодойных коров время доения примерно в три раза меньше, чем у тугодойных. Установлено, что для коров различной продуктивности с увеличением кратности доения суточный удой повышается. Недобор молока из-за несоблюдения режимов доения в целом по стаду из 364 коров за месяц составляет около 32 тонн, за год примерно 320 – 325 тонн. Для повышения эффективности производства молока с использованием доильных роботов рекомендован тщательный подбор стада с предпочтением легкодойных коров, обладающих более высокой продуктивностью с меньшим временем доения.*

Ключевые слова: *доение, робот, продуктивность, кратность доения, эффективность использования*

RESEARCH OF QUALITATIVE INDICATORS OF USE OF MILKING ROBOTS

[1]Dorovskikh Vladimir
[1]Zharikov Vadim

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

Abstract. *The use of dolly robots was studied, the main advantages and disadvantages of their application were revealed. t was found that milking by robots has a beneficial effect on milk yield: in 64% of cows, the average intensity of milk excretion exceeds 2 l / min, and in 27% it is higher than 3 l / min. The specifics of the use of milking robots in Russia were established: the lack of domestic robotic systems, so the cost of their operation is up to 600 thousand rubles per year per robot; low wages for livestock workers; a wide variety of morphological and functional properties of the udder in domestic cows. The studies were carried out using the T4C computer program, which is formed on the basis of information from various sensors installed in the robot nodes. It was determined that the adaptation of cows to robotic milking occurs within 5-15 days. Daily milk yield increases in all cows in 1.5 - 4 times. The intensity of milk excretion increases by 0.6 - 5.0 times and stabilizes e within 5 - 15 days. Cows were ranked according to the average intensity of milk production with an interval of 0.5 l / min. It has been established that the daily milk yield increases with an increase in the intensity of milk elimination to 2.0 l / min and then sets at 26-30 l / min. With increasing intensity of lactation, the milking time of cows decreases. Milking cows in light-dairy cows are about three times less than in slow-moving cows. It was found that for cows of various productivity, with an increase in the multiplicity of milking, the daily yield of milk increases. The shortage of milk due to non-compliance with the milking regimes as a whole for a herd of 364 cows per month is about 32 tons, per year about 320 - 325 tons. Careful selection of the herd with the preference for light-dairy cows with higher productivity with shorter milking time is recommended to increase the efficiency of milk production using milking robots.*

Keywords: *milking, robot, productivity, milking rate, efficiency of use*

Введение. Применение роботов для доения коров явилось базой для возникновения практически новой технологии, суть которой заключается в самообслуживании животных. Ориентируясь на свой индивидуальный суточный ритм и готовность к доению, корова сама идет в доильный бокс, где в автоматическом режиме осуществляется весь комплекс работ по подготовке вымени, доению и контролю параметров.

Однако наряду с очевидным преимуществом автоматических доильных систем в процессе их эксплуатации обнаружен ряд проблемных моментов [1-5].

Прежде всего - это высокая их стоимость. Еще одна важная проблема при внедрении роботов - особый подход к дойному стаду. При этом следует учитывать, что отечественные коровы отличаются большим разнообразием морфологических и функциональных свойств вымени, что сказывается на эффективности использования роботов. Необходима тщательная выбраковка коров по параметрам вымени в целом и сосков в частности. Выбраковывать при этом приходится от 5 до 10% поголовья. Затем нужно приучить коров к доильной установке. На это уходит от двух недель до одного-двух месяцев, в течение которых существенно падает молочная продуктивность. Некоторых особей приучить так и не удается.

В связи с этим, в первую очередь необходима разработка системы управления структурой стада, обеспечивающей эффективное функционирование биотехнических систем в условиях роботизированных молочно-товарных ферм.

Материалы и методы. Определение параметров элементов биотехнической системы осуществлялось с использованием методов и средств приборного контроля [6 - 9]: способ оценки соответствия показателей молокоотдачи животного и параметров доильного аппарата (патент № 2109935); устройство для контроля стабильности вакуума доильной установки (патент № 2153800); устройство для измерения частоты и соотношения тактов доильных аппаратов (патент № 2180479); способ измерения давления сосковой резины на сосок при ее смыкании и устройство для его осуществления (патент № 2492634).

Исследования проведены на молочной ферме АО «Голицыно» Никифоровского района Тамбовской области. Объекты исследований – процесс доения роботизированными установками Astronaut A5 фирмы Lelu коров черно-пестрой породы. Сбор данных осуществлялся в течение 6 месяцев, при этом 6 роботов обслуживали стадо из 364 коров.

Исходные данные получены из компьютерной программы T4C, которая формируется на основе информации от различных датчиков, установленных в узлах робота Информация содержит данные по конкретной корове: инвентарный номер, респондер, номер лактации; дату отела; дни лактации, а также показатели доений по дням: номер робота; время посещения; разовый удой; среднюю и максимальную интенсивность молоковыведения; время обработки сосков; латентный период по долям вымени; время отдачи молока по долям вымени; время нахождения в боксе.

Обработка данных осуществляется с использованием элементов ABS – анализа в среде EXEL.

Результаты и их обсуждение. В АО «Голицыно» проведен отбор животных для доения на роботах и осуществлен анализ стада по молокоотдаче и продуктивности. На графике (рисунок 1) представлено распределение коров по средней интенсивности молоковыведения.

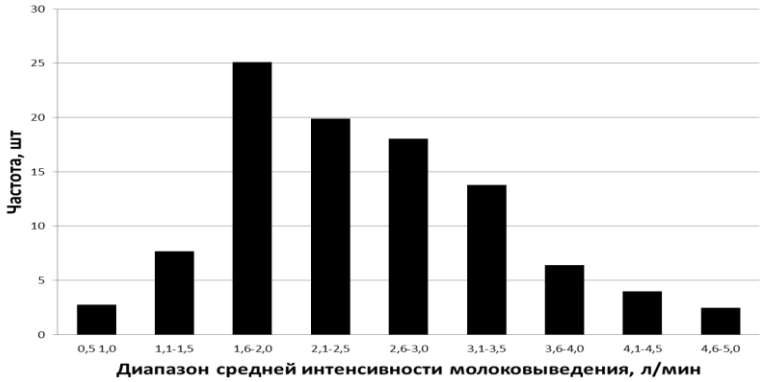


Рисунок 2 – Распределение коров по средней интенсивности молоковыведения

Установлено, что доение роботами благотворно сказывается на молокоотдаче. У 64% коров средняя интенсивность молоковыведения превышает 2 л/мин, а у 27 % она выше - 3 л/мин.

Суточный удой с увеличением интенсивности молоковыведения до значения 2,0 л/мин повышается и далее находится на уровне 26 - 30 л/мин. (рисунок 3).

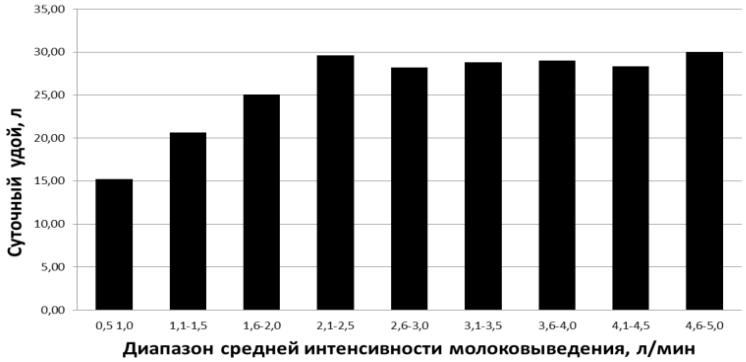


Рисунок 3 – Средний суточный удой коров по группам интенсивности молоковыведения

На рисунке 4 представлена диаграмма времени молокоотдачи по группам коров.

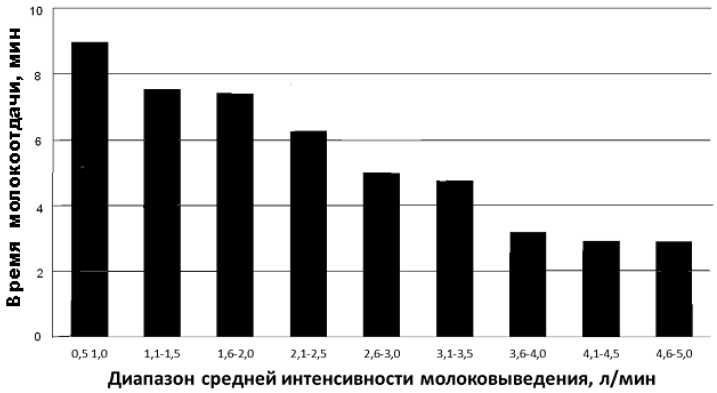


Рисунок 4 – Среднее время молокоотдачи коров по группам

С увеличением интенсивности молоковыведения время доения коров снижается. У легкодойных коров время доения примерно в три раза меньше, чем у тугодойных.

В зависимости от максимального разового удоя по каждой корове было рассчитано оптимальное время молоковыведения из условия:

$$T_{опт} = 3 + 0,2Q,$$

где $T_{опт}$ – оптимальное время молоковыведения, мин, Q – разовый удой, л.

На рисунке 5 представлена диаграмма процентного отношения коров с оптимальным временем доения по группам интенсивности молоковыведения.

Рисунок 5 – Диаграмма процентного отношения коров с оптимальным временем доения по группам интенсивности молоковыведения

Из рисунка видно, что у коров со средней интенсивностью молоковыведения более 2,5 л/мин доля коров с оптимальным временем доения по группам превышает 90 %, а с интенсивностью молоковыведения более 3,5 л/мин равно 100%.

Таким образом, коров со средней интенсивностью молоковыведения менее 1,5 л/мин следует исключать из стада, коровы со средней интенсивностью молоковыведения более 3,5 л/мин целесообразно отнести к элитному племенному ядру и постепенно формировать структуру стада на базе этих коров. Для племенных хозяйств использование этого метода оценки открывает перспективу выведения внутрипородной популяции коров по их соответствию условиям роботизированного доения.

Установлено, что доение роботами с использованием аппаратов с почетвертным доением более физиологично в сравнении с доением аппаратами попарного доения, применяемыми на молокопроводных линейных доильных установках. На рисунке 5 представлены лактационные кривые коровы со средней интенсивностью молоковыведения 2,4 л/мин при доении на линейной доильной установке АДМ-8 (1 - 12месяцев) и с доением роботом (13 – 28 месяцев).

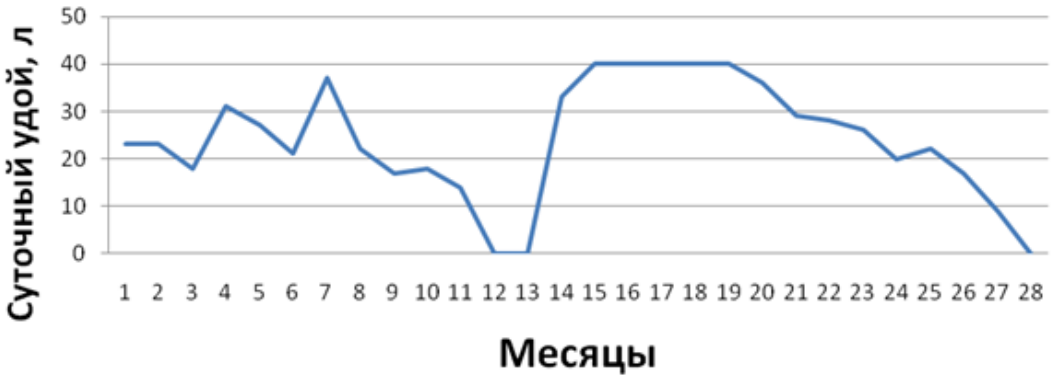


Рисунок 5 – Лактационные кривые коровы № 34

Из рисунка видно, что лактационная кривая при доении роботом характеризуется более высоким уровнем суточного удоя и отсутствием колебаний продуктивности. Надой за лактацию при доении роботом на 37 % выше.

В ходе хозяйственной проверки установлено, что животные быстро привыкают к доению роботами и в течение 10 - 15дней суточный удой стабилизируется (рисунок 6), средняя и максимальная интенсивность молоковыведения (рисунок 7) у большинства коров стабилизируется в течение 8-12 дней.

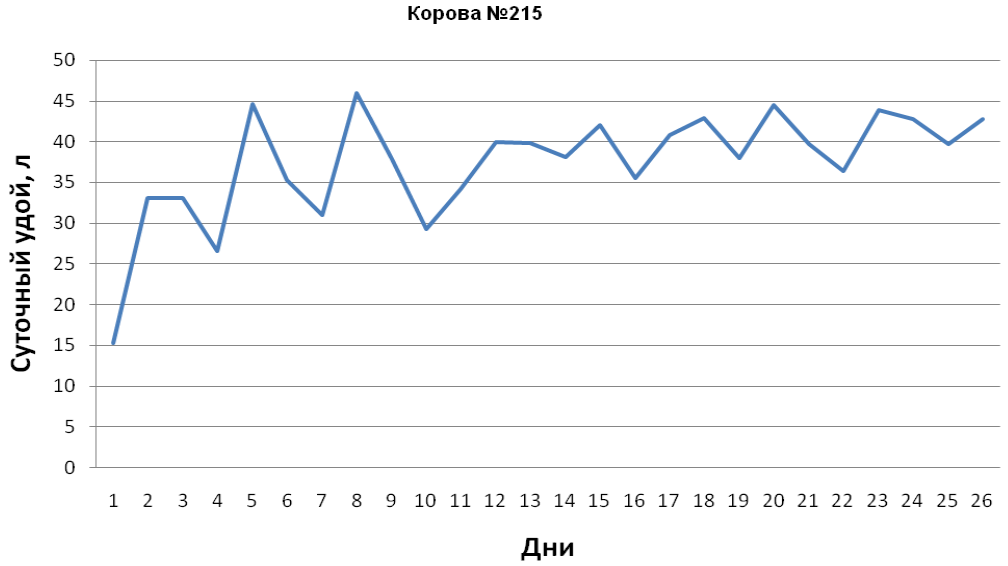


Рисунок 6 – Изменение суточного удоя в процессе адаптации коров

Установлено, что у первотелок адаптация происходит гораздо быстрее.

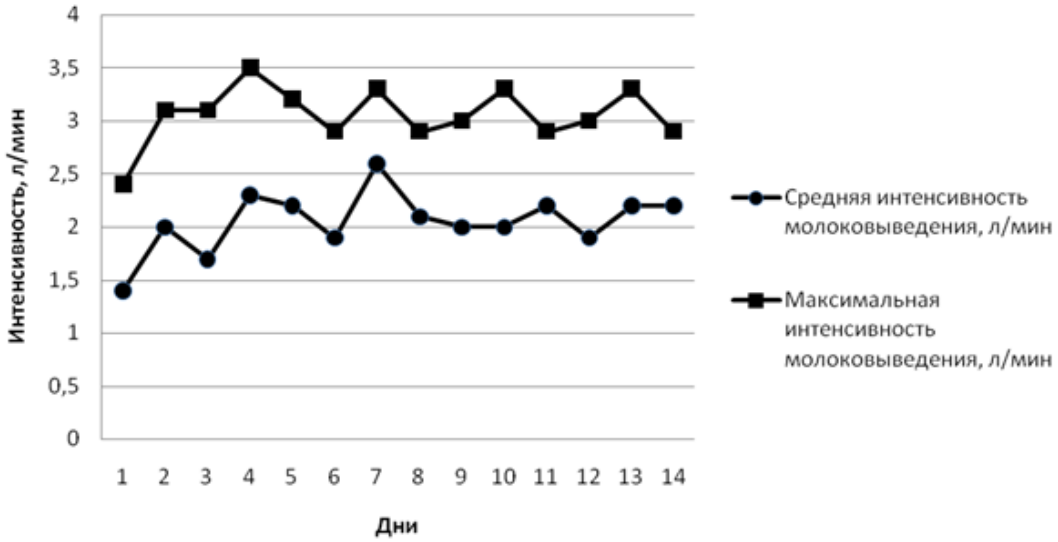


Рисунок 7 – Изменение интенсивности молоковыведения

Проведенные исследования показали, что число доений, животных, зависит главным образом от их продуктивности.

На рисунке 8 представлены диаграммы изменения суточного удоя коров в зависимости от кратности доения с продуктивностью: а) до 60 литров; б) до 50литров; в) до 40 литров; г) до 30 литров.

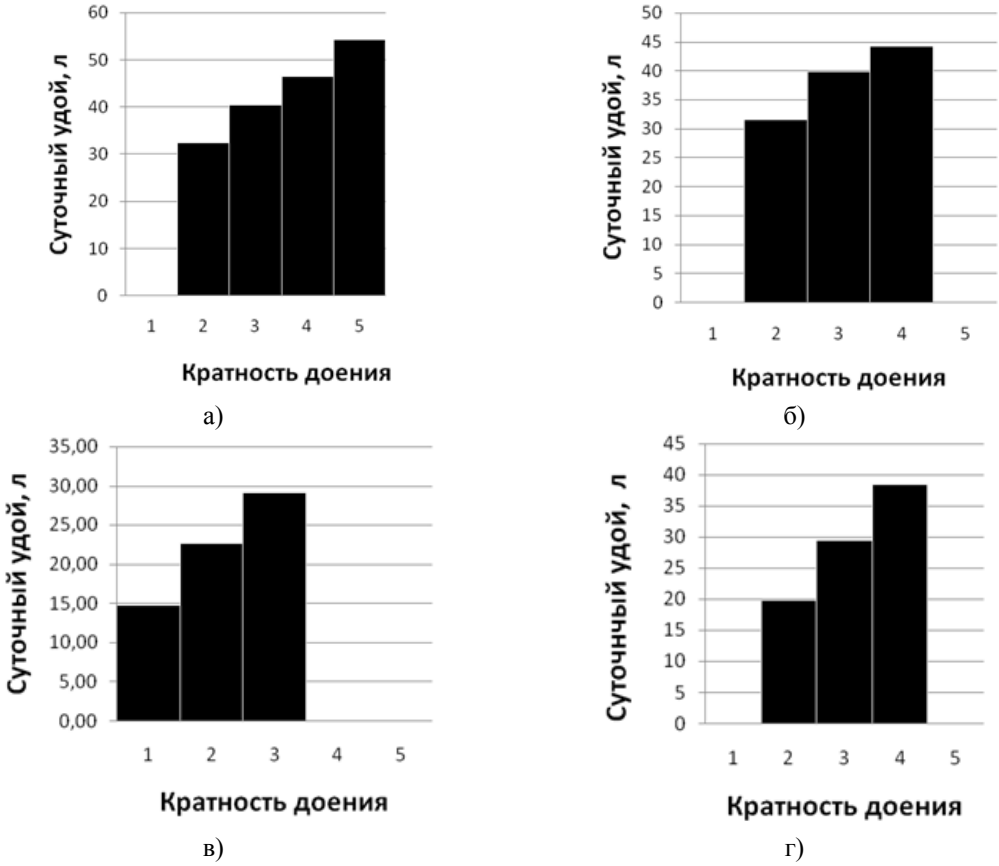


Рисунок 8 – Диаграммы изменения суточного удоя коров в зависимости от кратности доения

Из диаграмм видно, что для высокоудойных коров кратность доения должна быть выше. Для всех коров увеличение кратности доения приводит к увеличению суточного удоя.

За счет повышения кратности доения при использовании роботов прибавка объемов произведенного молока за год в сравнении с технологией на базе линейных молокопроводных доильных систем с двукратным доением составит примерно 300 – 330 тонн.

Анализ данных показал, что продолжительность молоковыведения из каждой четверти вымени со временем может меняться. Кроме того, наблюдается заметная разница в продолжительности доения четвертей вымени. Поэтому раздельное доение четвертей вымени и снятие доильных стаканов по мере снижения потока молока до определенного уровня положительно сказывается на состоянии вымени животного. Это происходит за счет снижения времени «холостого доения».

Заключение. Для повышения эффективности производства молока с использованием доильных роботов необходим тщательный подбор стада. При этом предпочтение должно отдаваться легкодойным коровам, обладающим более высокой продуктивностью и гораздо меньшим временем доения. Коров со средней интенсивностью молоковыведения менее 1,5 л/мин следует исключать из стада, коровы со средней интенсивностью молоковыведения более 3,5 л/мин целесообразно отнести к элитному племенному ядру и постепенно формировать структуру стада на базе этих коров. Для племенных хозяйств использование этого метода оценки открывает перспективу выведения внутрипородной популяции коров по их соответствию условиям роботизированного доения.

Список литературы

1. Dairy Robotic Milking Systems – What are the Economics? - URL: http://www. articles.extension.org / (дата обращения 13.02.2019).

2. Janice Siegford and Jacquelyn Jacobs. Do cows adapt quickly to being milked by robots? (Published on 02 February 2011) URL: https://www.progressivedairy.com/topics/barns-equipment/do-cows-adapt-quickly-to-being-milked/(дата обращения 19.02.2019).

3. Чеченихина О.С. Эффективность внедрения роботизированных систем доения крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №08(175). – С. 62 – 68.

4. Портной А.И. Роботизация доения коров: опыт практического использования в Беларуси // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2016. – Вып.19. – Ч.2. – С. 130 - 136.

5. Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г. Сравнительная оценка энерго, трудо и эксплуатационных затрат при переводе коров с доения в молокопровод на робот «LELY ASTRONAUT» // Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 3(11). – С. 188-189

6. Доровских В.И., Доровских Д.В. Результаты исследований функциональных свойств вымени животных в производственных условиях // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С.52-59.

7. Доровских В.И., Доровских Д.В., Аткешов О.А. Исследование режимов настройки доильных аппаратов с помощью универсального прибора для контроля периодов пульсаций и измерения давления сосковой резины на конец соска // Наука в центральной России. – 2017. № 1 (25). С. 28 - 35.

8. Доровских В.И., Доровских Д.В. Общие принципы количественной оценки качества процесса доения животных // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. – № 3(23). – С.138-141.

9. Доровских В.И., Доровских Д.В., Аткешов О.А. Обоснование метода количественной оценки качества процесса машинного доения // Наука в центральной России 2015. – № 3(15). – С.88-94.

References

1. Dairy Robotic Milking Systems – What are the Economics? - URL: http://www. articles.extension.org / (data obrashcheniya 13.02.2019).

2. Janice Siegford and Jacquelyn Jacobs. Do cows adapt quickly to being milked by robots? (Published on 02 February 2011) URL: https://www.progressivedairy.com/topics/barns-equipment/do-cows-adapt-quickly-to-being-milked/(data obrashcheniya 19.02.2019).

3. CHechenihina O.S. Effektivnost' vnedreniya robotizirovannyh sistem doeniya krupnogo rogatogo skota // Agrarnyj vestnik Urala. – 2018. – №08(175). – S. 62 – 68.

4. Portnoj A.I. Robotizaciya doeniya korov: opyt prakticheskogo ispol'zovaniya v Belarusi // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. – 2016. – Vyp.19. – CH.2. – S. 130 -136.

5. Ivanov YU.G., Lapkin A.G. Sravnitel'naya ocenka energo, trudo i ekspluatacionnyh zatrat pri perevode korov s doeniya v molokoprovod na robot «LELY ASTRONAUT» // Vestnik VNIIMZH. – 2013. – № 3(11). – S. 188-189

6. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V. Rezul'taty issledovanij funkcional'nyh svojstv vymeni zhivotnyh v proizvodstvennyh usloviyah // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 1 (31). – S.52-59.

7. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Atkeshov O.A. Issledovanie rezhimov nastrojki doil'nyh apparatov s pomoshch'yu universal'nogo pribora dlya kontrolya periodov pul'sacij i izmereniya davleniya soskovoj reziny na konec soska // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. № 1 (25). S. 28 - 35.

8. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V. Obshchie principy kolichestvennoj ocenki kachestva processa doeniya zhivotnyh // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2016. – № 3(23). – S.138-141.

9. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Atkeshov O.A. Obosnovanie metoda kolichestvennoj ocenki kachestva processa mashinnogo doeniya // Nauka v central'noj Rossii 2015. – № 3(15). – S.88-94.

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.

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.

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): 30.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 02.12.2019

УДК 634.75: 631.358
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-42-50

ТЕЛЕЖКА ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ РУЧНОГО СБОРА ЯГОД ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[1]Сомин Валерий Владимирович
[1]Андронова Наталья Васильевна
[2]Ожерельева Марина Викторовна

[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Реферат. *Важнейшим резервом повышения эффективности производства ягод земляники садовой является рационализация их сбора посредством тележки индивидуального использования. Установлено, что с помощью такой тележки сборщик будет срывать ягоды, сидя в удобной позе и перемещаться вдоль рядов, отталкиваясь ногами от поверхности одного или двух междурядий. При сравнении вариантов размещения сборщика над междурядьем и над рядом показано, что в последнем случае длина траектории движения его рук уменьшается в 1,34 раза, что создает потенциал для увеличения производительности труда на 15 – 17 %, уменьшается степень деформации позвоночника сборщика, что снижает утомляемость и также способствует росту производительности труда. Разработана конструкция тележки, базирующаяся на серийном дорожном велосипеде, который снабдили с левой стороны третьим колесом, предусмотрев площадку для наполняемой тары и кассету для порожней и наполненной тары. Задние колеса должны перемещаться по двум соседним междурядьям. Переднее колесо выполнено управляемым, для чего смонтированный вместо поперечины руля продольный рычаг выведен в зону доступности для левой руки сборщика. Последовательное подвешивание тележки, сидение которой было загружено балластом весом 704,6 Н, имитирующим вес сборщика, за каждое из трех колес показало, что переднее колесо нагружено на 43 % меньше, чем левое заднее. Однако по мере наполнения тары нагрузка на переднее и правое заднее колеса выравнивается. При испытаниях выявлен слишком большой контраст в освещении затененной ящиком зоны съема ягод и окружающей территории, что затрудняет визуальное сканирование ряда. Даны рекомендации снабдить тележку солнцезащитным тентом достаточной площади, чтобы избежать этого.*

Ключевые слова. *Земляника садовая, рационализация сбора, ягода, тележка, освещенность, производительность труда, утомляемость*

TROLLEY TO FACILITATE MANUAL HARVESTING OF STRAWBERRIES

[1]Ozherelev Viktor
[1]Somin Valeriy
[1]Andronova Natalia
[2]Ozhereleva Marina

[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Bryansk State Technical University"

Abstract. *The most important reserve for increasing the production efficiency of garden strawberries is the rationalization of their collection through individual use trolleys. It was established that with the help of such a trolley the picker will pick berries, sitting in a comfortable position and move along the rows, pushing with his feet off the surface of one or two row-spacings. It was shown when comparing the options for placing the collector above the aisle and above the row that in the latter case the length of the trajectory of movement of his hands decreases 1.34 times, which creates the potential for increasing labor productivity by 15 - 17 %, the degree of deformation of the spine of the collector decreases, which reduces fatigue and also contributes to productivity growth. The design of the trolley based on the serial road bike was developed, which was equipped with a third wheel on the left side, providing a platform for refillable containers and a cartridge for empty and filled containers. The rear wheels must move along two adjacent row spacings. The front wheel is made controllable, for which the longitudinal lever mounted instead of the steering bar cross member is brought into the accessibility zone for the collector's left hand. The front wheel is made controllable, for which the longitudinal lever mounted instead of the steering bar cross member is brought into the accessibility zone for the collector's left hand. The sequential suspension of the trolley, the seat of which was loaded with ballast weighing 704.6 N, simulating the weight of the collector, for each of the three wheels showed that the front wheel is loaded 43 % less than the left rear. However, as the container fills, the load on the front and right rear wheels is leveled. Too much contrast in the lighting of the shaded box and berry picking area and surrounding area was revealed during testing, which complicates visual scanning of the row. Recommendations are given to equip the trolley with a sun awning of sufficient area to avoid this.*

Keywords: *Strawberry, rationalization of the harvest, berry, trolley, lighting, labor productivity, fatigue*

Введение. В условиях рыночной экономики климатические преимущества стран тропического и субтропического пояса приводят к тому, что объемы производства ягод земляники садовой неуклонно перераспределяется в их пользу [1-3]. Положение производителей ягод из стран с умеренным климатом усугубляется еще и тем, что, как правило, у наших южных конкурентов в достатке более дешевая рабочая сила. Совокупность указанных преимуществ ограничивает российское ягодоводство относительно узкой рыночной нишей производства сезонных ягод. Однако и в период массового созревания урожая в средней полосе России конкуренция с импортной продукцией велика, в связи с чем актуальной задачей становится уменьшение себестоимости ягод, в том числе – за счет увеличения производительности труда сборщиков.

Попытки решить эту проблему путем механизации сбора, предпринимавшиеся во многих странах на протяжении нескольких последних десятилетий, приемлемого для практики результата не принесли, что связано с характерными особенностями растений земляники садовой, в частности, растянутостью срока созревания ягод и отсутствием жестких несущих стеблей [4 – 7]. Многолетний труд селекционеров в направлении радикального изменения биологической сущности растения не увенчался успехом: создать сорта ягод, пригодные для механизированной уборки, пока не удалось [8]. До сих пор вызывает сомнение практическая целесообразность возможной роботизации сбора ягод земляники садовой [9].

Возможным реальным направлением совершенствования процесса уборки ягод земляники садовой может стать рационализация труда сборщиков за счет применения тележек индивидуального использования. Сборщик ягод на тележке будет работать в удобной позе и перемещаться вдоль рядов отталкиваясь, по мере необходимости, ногами от поверхности междурядий или периодически вводя в действие различного типа приводы (механический, электрический, двигатель внутреннего сгорания) [10 – 17]. Такая рационализация существенно уменьшает нагрузку на опорно-двигательную систему человека, снижает его утомляемость и увеличивает производительность труда. Так, на одной из плантаций Швейцарии с уборкой ягод с площади в 14 га в течение сезона справляются снабженные тележками 40-50 иностранных рабочих, что свидетельствует о высокой эффективности оборудования [17].

Гипотеза исследования. Вызывает вопросы оптимальное размещение сборщика ягод по отношению к ряду растений. Он может быть размещен как над рядом, так и над междурядьем [2]. В первом случае сборщик собирает ягоды перед собой, наклоняясь вперед, а во втором – с двух полурядов, поворачивая торс в соответствующую сторону и наклоняясь в бок. Необходимо дать

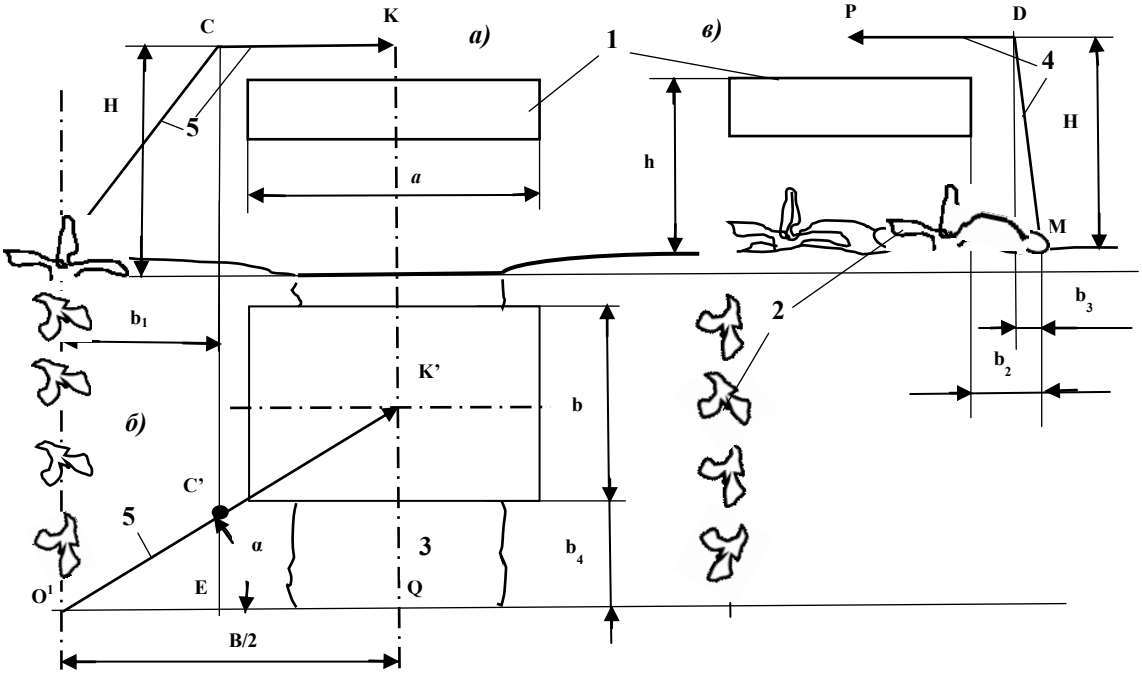
объективную оценку этим вариантам размещения сборщика с точки зрения их сопоставления по потенциальной производительности труда. Понятно, что производительность труда сборщика ягод , в значительной степени, зависит от его физических возможностей: один и тот же человек может иметь разную производительность труда при разных вариантах его организации.

Цикл сбора ягод включает следующие фазы: визуальный поиск объекта уборки, перемещение руки в его направлении, захват и отрыв ягоды и ее подача в тару. Продолжительность цикла зависит от длительностикаждой его фазы, что может быть представленов виде следующего выражения:

$$t_ц = t_o + t_п + t_{ср} + 2L / v \quad (1)$$

где: $t_ц$ – продолжительность цикла, с; t_o - продолжительность визуального сканирования ряда, с; $t_п$ – время, затачиваемое на перемещение руки в сторону снимаемой ягоды, с; $t_{ср}$ – продолжительность процесса захвата и отрыва ягоды, с; L – суммарная длина траектории перемещения ягод (и рук) от точки их отрыва от цветоноса до центральной зоны тары, м; v – скорость перемещения ягод (и рук) м/с.

Варианты размещения сборщика отличаются друг от друга по продолжительности фазы перемещения руки с ягодой до тары (рисунок 1). Это обусловлено тем, что длина траектории от момента отрыва ягоды от цветоноса до центральной зоны тары 1 короче, если сборщик размещен над рядом (рисунок 1 в), а не над междурядьем (рисунок 1а, б).



1 – тара; *2* – ряд растений; *3* – междурядье; *4, 5* – траектории движения рук сборщика при его размещении, соответственно, над рядом и над междурядьем

Рисунок 1 – Сопоставление траекторий движения рук сборщика в вариантах его размещения по отношению к ряду растений:
а), б) – над междурядьем (вид сзади и сверху, соответственно); *в)* – над рядом;

Для упрощения расчетов полагаем, что траектория *MDP* включает два участка. На первом участке рука сборщикас ягодами проходит путь от точки *M* к точке *D*, а затем перемещается горизонтально по направлению к середине ящика, проходя при этом расстояние, равное *b*/2. При этом считаем, что для обеспечения наиболее комфортных условий работы сборщика должно быть предусмотрено его определенное позиционирование по отношению к ящику 1, для чего между

передней стенкой последнего и зоной съема ягод должно оставаться некоторое свободное пространство b_2 = 0,1 – 0,15 м (рисунок 1в). Учитывая то, что на участке *MD* траектория движения руки сборщика неизбежно отклонится от вертикали на некоторое расстояние, примем величинуb_3указанного отклонения равной 0,05 – 0,07 м. Тогда суммарная длина траектории движения руки сборщика может быть определена по формуле

$$L_1 = \sqrt{\left(H^2 + b_3^2\right)} + \frac{1}{2}b + \left(b_2 - b_3\right), \quad (2)$$

где *H* – расстояние от поверхности почвы, достаточное для преодоления рукой сборщика верхней кромки стенки ящика.

При *H* = 0,3 м; *b* = 0,34 м; b_2 = 0,1 м и b_3 = 0,04 м, длина траектории L_1 достигает 0,53 м.

Аналогичные расчеты выполним для варианта с размещением сборщика над междурядьем (рисунок 1а, б). Исходя из наиболее эргономичного варианта поворота торса сборщика отметим, что для максимально удобной работы он должен срывать ягоды, находящиеся на расстоянии b_4от передней стенки ящика. При этом b_4 существенно больше, чем b_2. С учетом характерного для среднего человека радиуса поворота рук вокруг вертикальной оси (при неизменной величине указанного радиуса), величинаb_4 должнапревышать 0,2 м. Поскольку длина ящика *a* = 0,4 м, а зазор между ним и траекторией движения руки сборщика не должен быть менее 0,05 м, определяем, что b_1 = 0,2 м. С учетом того, что, как правило, расстояние *B* между центрами рядов равно 0,9 м, устанавливаем, что O^1K^1 = 0,58 м. Вследствие подобия прямоугольных треугольников O^1K^1Q и O^1C^1Eполучаем, что O^1C^1 = 0,26 м. Тогда суммарную длину траектории движения руки сборщика можно получить, используя следующую формулу

$$L_2 = \sqrt{\left(\left(O^1C^1\right)^2 + H^2\right)} + \sqrt{\left(\left(\frac{1}{2}a\right)^2 + \left(\frac{1}{2}b\right)^2\right)} + 0{,}05, \quad (3)$$

С учетом принятых параметров процесса получаем, что L_2 достигает 0,71 м.

Следовательно, суммарная длина траектории движения рук сборщика,размещенного над междурядьем,в 1,34 раза превышает соответствующий показатель,характерный для альтернативного варианта его размещения (непосредственно над рядом земляники садовой). Учитывая формулу (1), можно сделать вывод о том, что такая разница (при сопоставимых физических данных рабочих) обеспечивает для размещенного над рядом сборщика производительность труда на 15 – 17% большую, чем в альтернативном варианте (если бы он размещался над междурядьем). В связи с более интенсивной деформацией позвоночника при размещении сборщика над междурядьем, усталость накапливаетсяу него с большей скоростью, что, в конечном итоге, должно неизбежно привести к дополнительному уменьшению производительности труда, увеличивая таким образом отставание от его коллеги, размещенного над рядом, до 20 – 25%.

Материалы и методы. На основании выше изложенной гипотезы и с учетом анализа конструкций тележек, обнаруженных в литературных источниках, а также встречающихся в фермерских хозяйствах США [10] был разработан вариант оборудования, представленный на рисунке 2. В его основу положен серийный дорожный велосипед, с которого демонтированы каретка педалей, сиденье и поперечина руля. В освободившемся корпусе каретки 9 смонтирована поперечина 6 с вилкой 13 и колесом 14 на противоположном конце. Таким образом, велосипед трансформирован в трехколесную тележку, колею задних колес которой можно изменять в пределах 0,7 …0,9 м, перемещая вилку 13 по кронштейну 10 и закрепляя на соответствующих отверстиях болтовыми соединениями.

На поперечине 6 закреплено сиденье 15, а на вилках 4 и 13 задних колес 5 и 14 смонтированы Г-образные консоли 17 и 18, на поперечных частях 21 и 22 которых установлена площадка 19 для тары 20. На обратной по отношению к сиденью 15 стороне велосипеда на его раме 1 смонтирована (подвешена на хомутах 32) кассета 31 для порожней и наполненной тары. Вместо поперечины руля установлен продольный рычаг 16, который позволяет корректировать траекторию движения тележки посредством поворота вилки 2 с передним колесом 3.

В 2019 году тележка прошла предварительные испытания на сборе ягод в крестьянском (фермерском) хозяйстве Стекачева П.Ю. (Почепский район Брянской области) и на научно-производственной плантации Брянского ГАУ (с. Кокино, Выгоничский район, Брянской области).

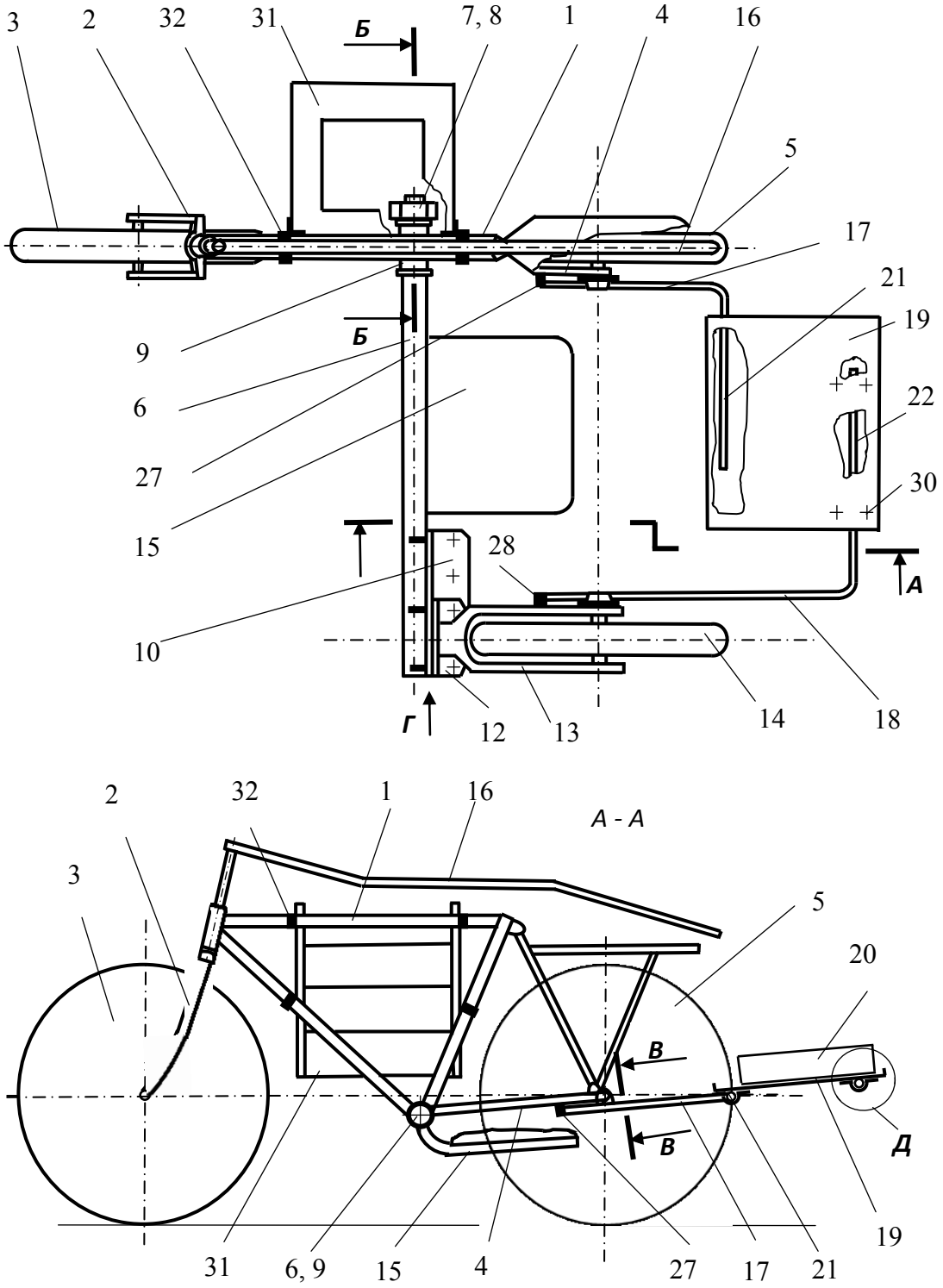


Рисунок 2 – Общий вид тележки для ручного сбора земляники садовой индивидуального использования (обозначения позиций в тексте)

Перед выходом в поле были уточнены основные размерно-весовые параметры тележки. Перед измерениями давление в шинах колес было доведено до 2,5 бар. В результате были определены размерные параметры и вес, приходящийся на каждое опорное колесо (таблица). Вес определялся методом последовательного подвешивания тележки за каждое из колес посредством динамометра с пределом измерения до 500 Н.

После измерения и взвешивания порожней тележки на ее сиденье был помещен балласт, имитировавший вес сборщика. Для этой цели были использованы кирпичи массой 3,6 кг каждый. При этом 20 кирпичей имеют суммарную массу, сопоставимую со средней массой сборщика – 72 кг (G = 704,6 Н).

Результаты эксперимента и их обсуждение. Исследования показали, что вес, приходящийся на каждое из колес порожней тележки варьируется в пределах от 83,3 до 107,8 Н, возможная разница составляет 30%. После загрузки балласта разница в весе, приходящемся на каждое колесо, возрастает до 176 Н, что составляет почти 43% от максимального значения параметра.

Очевидно, что такая разница нежелательна, но необходимо иметь ввиду, что при взвешивании не учитывали вес заполненной ягодами тары, которая в процессе сбора должна быть размещена в кассете 31 (рисунок 2). Три стандартных ящика с ягодами весят примерно 140 - 150 Н, так что при полной загрузке тележки вес, приходящийся на каждое из ее колес практически выравнивается.

Таблица – Основные размерные и весовые параметры тележки для сбора ягод земляники садовой

Размеры, мм			Весовые параметры, Н	
Наименование	Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
1.Продольная база	L	1170	Порожняя	
2.Ширина колеи	$B_к$	930	Переднее колесо R_1	83,3
3.Диаметр колеса	D	700	Заднее правое R_2	123,5
4.Высота установки сиденья	h	260	Заднее левое R_3	107,8
5.Расстояние между центром сиденья и осью задних колес по горизонтали	l	225	Суммарный вес R_Σ	314,6
			Нагруженная	
			Вес балластаG	704,6
6.Расстояние между центром сиденья и опорной точкой для ног сборщика по горизонтали	l'	800	Переднее колесо ΣR_1	235,2
			Заднее правое ΣR_2	372,4
			Заднее левое ΣR_3	411,6
			Суммарный вес ΣR_Σ	1019,2

В процессе испытания эксперты оценивали удобство работы и комфортабельность оборудования. По сравнению с традиционным сбором «на ногах» очевидное улучшение условий труда и уменьшение утомляемости сборщика при предложенном способе рационализации уборки ягод безусловно. Но проявилась проблема, не предсказанная теоретически и не описанная в публикациях других авторов, связанная с тем, что при определенном соотношении направления рядов и положении солнца зона съема ягод оказывается в тени, падающей от ящика. Из-за слишком резкой контрастности освещенности фокусировка зрения сборщика была затруднена и процесс сканирования ряда замедляется. Кроме того, при длительной работе в таком режиме может произойти сильное переутомление зрения с соответствующими негативными последствиями.

Для решения этой проблемы был найден наиболее приемлемый вариант решения проблемы - снабдить тележку тентом, достаточным по площади для затенения всего поля зрения перед сборщиком в пределах убираемого ряда, чтобы его зрение успешно адаптировалось к более низкой освещенности зоны затенения, отсекая от визуального контакта окружающие ее экстремально освещенные территории.

При внедрении разработанной тележки на плантациях земляники садовой в хозяйствах Брянской области важно было учесть, что схема посадки и содержание рядов не всегда соответствуют традиционно принятой схеме, поэтому по окончании сезона сбора ягод была на 200

мм увеличена длина поперечины 6 (рисунок 2) вследствие чего фактическая ширина колеи задних колес стала варьироваться в пределах от 900 до 1100 мм.

Заключение. 1. В условиях ужесточения конкуренции на рынке ягод с импортной продукцией практическое применение разработанной тележки для сбора ягод земляники садовой индивидуального использования представляется безусловно целесообразным.

2. С учетом приобретения дорожного велосипеда балансовая цена тележки не превышает 13875 рублей или 185 Евро. То есть, разработанная и испытанная нами конструкция тележки дешевле даже наиболее дешевого импортного варианта аналогичного оборудования, цена которого достигает 900 Евро [16, 17]. Следует также учесть и то, что после уборки урожая предполагается полное восстановлениеисходных потребительских свойств велосипеда, вследствие чего он может быть использован по его прямому назначению. В результатесумма амортизационных отчисленийможет быть существенно уменьшена.

Список литературы.

1. Ожерельева М.В. Теоретические, методические и прикладные аспекты размещения предприятий плодово-ягодного подкомплекса АПК в Центральном федеральном округе РФ. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / ФГОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия». – Курск, 2008. – 312с.

2. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Гринь А.М., Сомин В.В. Динамика производства ягод земляники садовой по странам мира // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4 (74). С. 60-66.

3. Базы данных ФАО. Режим доступа: http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC. (Дата обращения 15.10.2018).

4. Евсеева О.А. Обоснование технологического процесса и основных параметров земляникоуборочной машины: автореф. дис. … канд. техн. наук / Евсеева Ольга Александровна. М., 1993. 19с.

5. Евсеева О.А., Утков Ю.А., Пиленко П.И. Исследование функционирования воздушного потока при машинной уборке земляники // Агротехника, селекция и механизация в ягодоводстве Нечерноземья. Сборник научных трудов. М.: изд. НИЗИСНП, 1988. – С. 176-184.

6. Евсеева О.А. Обоснование некоторых параметров и компоновки земляникоуборочной машины с применением воздушного потока // Развитие ягодоводства в Нечерноземье. Сборник научных трудов. М.: изд. НИЗИСНП, 1987. – С. 117-122.

7. Воеводский С.М. Моделирование процесса подъема цветоноса земляники // Агротехника, селекция и механизация в ягодоводстве Нечерноземья. Сборник научных трудов. М.: изд. НИЗИСНП, 1988. – С. 185-190.

8. Попова И.В., Ипполитова Л.С., Верещагина М.А., Морозова А.И. Биологические особенности сортов и исходных форм земляники в селекции на скороплодность // Развитие ягодоводства в Нечерноземье: Сборник научных трудов. М.: изд. НИЗИСНП, 1987. – С. 40-59.

9. Агроробот для механической уборки клубники (AgrobotStrawberryHarvest) [Электронный ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=o3bzPVjO1r4.

10. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягоды. Практические рекомендации по выращиванию для себя и на продажу. М.: Колос, 2006. – 152с.

11. Доломанова Г.С., Утков Ю.А. Экспериментальное исследование платформы для рационализации уборки ягод земляники // Новое в ягодоводстве Нечерноземья. Сборник научных трудовю М.: изд. НИЗИСНП, 1990. – С. 113-119.

12. Доломанова Г.С., Утков Ю.А. Рационализация сбора ягод земляники // Садоводство и виноградарство. 1989. №7. – С. 32-35.

13. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. – № 5. – С. 42-47.

14. Пат. РФ №2415550 Платформа для ручной уборки урожая, посадки и ухода за низкорастущими культурами // Чухляев И.И., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Бычков В.В., Филиппов Р.А. опубл. 07.08.2010.

15. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. – 1994. – Vol. 18, – Issue 3, – P. 35.

16. Imsitzenpflücken: Der Wagenerleichtert die Arbeit. Joerborchert. [Электронный ресурс]. URL: twoday.net/stories/erdbeerpflueckwagen/

17. Der Erdbeerpflückwagen. Eine Erfindungaus Wachtberg? [Электронный ресурс]. URL: www.tagblatt.ch/ostschweiz/thurgan/canton/Grosse-Chance-fuer-auslaendische-Arbeiter; art123841, 2569546.

References

1. Ozherel'eva M.V. Teoreticheskie, metodicheskie i prikladnye aspekty razmeshcheniya predpriyatij plodovo-yagodnogo podkompleksa APK v Central'nom federal'nom okruge RF. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora ekonomicheskih nauk / FGOU VPO «Kurskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». – Kursk, 2008. – 312s.

2. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V., Grin' A.M., Somin V.V. Dinamika proizvodstva yagod zemlyaniki sadovoj po stranam mira // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 4 (74). S. 60-66.

3. Bazy dannyh FAO. Rezhim dostupa: http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC. (Data obrashcheniya 15.10.2018).

4. Evseeva O.A. Obosnovanie tekhnologicheskogo processa i osnovnyh parametrov zemlyanikouborochnoj mashiny: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk / Evseeva Ol'ga Aleksandrovna. M., 1993. 19s.

5. Evseeva O.A., Utkov YU.A., Pilenko P.I. Issledovanie funkcionirovaniya vozdushnogo potoka pri mashinnoj uborke zemlyaniki // Agrotekhnika, selekciya i mekhanizaciya v yagodovodstve Nechernozem'ya. Sbornik nauchnyh trudov. M.: izd. NIZISNP, 1988. – S. 176-184.

6. Evseeva O.A. Obosnovanie nekotoryh parametrov i komponovki zemlyanikouborochnoj mashiny s primeneniem vozdushnogo potoka // Razvitie yagodovodstva v Nechernozem'e. Sbornik nauchnyh trudov. M.: izd. NIZISNP, 1987. – S. 117-122.

7. Voevodskij S.M. Modelirovanie processa pod"ema cvetonosa zemlyaniki // Agrotekhnika, selekciya i mekhanizaciya v yagodovodstve Nechernozem'ya. Sbornik nauchnyh trudov. M.: izd. NIZISNP, 1988. – S. 185-190.

8. Popova I.V., Ippolitova L.S., Vereshchagina M.A., Morozova A.I. Biologicheskie osobennosti sortov i iskhodnyh form zemlyaniki v selekcii na skoroplodnost' // Razvitie yagodovodstva v Nechernozem'e: Sbornik nauchnyh trudov. M.: izd. NIZISNP, 1987. – S. 40-59.

9. Agrorobot dlya mekhanicheskoj uborki klubniki (AgrobotStrawberryHarvest) [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=o3bzPVjO1r4.

10. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. YAgody. Prakticheskie rekomendacii po vyrashchivaniyu dlya sebya i na prodazhu. M.: Kolos, 2006. – 152s.

11. Dolomanova G.S., Utkov YU.A. Eksperimental'noe issledovanie platformy dlya racionalizacii uborki yagod zemlyaniki // Novoe v yagodovodstve Nechernozem'ya. Sbornik nauchnyh trudovyu M.: izd. NIZISNP, 1990. – S. 113-119.

12. Dolomanova G.S., Utkov YU.A. Racionalizaciya sbora yagod zemlyaniki // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 1989. №7. – S. 32-35.

13. Filippov R.A., Hort D.O. Tekhnicheskie sredstva v tekhnologii ruchnoj uborki yagod zemlyaniki // Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin. – 2014. – № 5. – S. 42-47.

14. Pat. RF №2415550 Platforma dlya ruchnoj uborki urozhaya, posadki i uhoda za nizkorastushchimi kul'turami // CHuhlyaev I.I., Utkov YU.A., Cymbal A.A., Bychkov V.V., Filippov R.A. opubl. 07.08.2010.

15. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. – 1994. – Vol. 18, – Issue 3, – P. 35.

16. Imsitzenpflücken: Der Wagenerleichtert die Arbeit. Joerborchert. [Elektronnyj resurs]. URL: twoday.net/stories/erdbeerpflueckwagen/

17. Der Erdbeerpflückwagen. Eine Erfindungaus Wachtberg? [Elektronnyj resurs]. URL: www.tagblatt.ch/ostschweiz/thurgan/canton/Grosse-Chance-fuer-auslaendische-Arbeiter; art123841, 2569546.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ожерельев Виктор Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, с. Кокино, e-mail: vicoz@bk.ru.

Сомин Валерий Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, с. Кокино.

Андронова Наталья Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, с. Кокино.

Ожерельева Марина Викторовна – доктор экономических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Россия, г. Брянск, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Ozherelyev Victor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Agrarian University", Russia, Kokino, e-mail: vicoz@bk.ru.

Somin Valery – Postgraduate Student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Agrarian University", Russia, Kokino.

Andronova Natalya – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Agrarian University", Russia, Kokino.

Ozherelyeva Marina – Doctor of Economics, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Technical University", Russia, Bryansk, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2019

УДК: 631.348.35
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-50-58

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

[1]Башкирев Анатолий Петрович
[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шкабенко Александр Юрьевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *Известно, что при работе опрыскивателя в полевых условиях равномерность распространения раствора рабочей жидкости вдоль штанги зависит от множества факторов, в числе которых наиболее значительными являются – правильно подобранные распылители в системе распыла и грамотная установка высоты штанги. Распылители в большей степени влияют на качество применения гербицида, общее удовлетворение результатом после внесения и степень сноса. Выбирая распылитель для внесения гербицидов зерновых культур, отмечаем, что злаковые сорняки достаточно сложно накрыть рабочей жидкостью. Установлено, что для большинства регионов России в период опрыскивания применяют послевсходовые гербициды злаковых культур и различные типы распыливающих наконечников. Особенно будут востребованы однофакельные инжекторные распылители, которые полностью покрывают каплями все растения. Проведены исследования скорости опрыскивания при внесении послевсходовых гербицидов зерновых культур. Выявлено, что с более высокой скоростью, больше используемого гербицида откладывается на самой культуре. Этот процесс приводит не только к уменьшению влияния гербицида на сорняки, но также к угнетающему воздействию на зерновой культуре - фитотоксичности. Скорость опрыскивания не должна превышать 12 км/ч. Повышение скорости опрыскивания вызывает снижение проникновения рабочей жидкости к сорнякам, что особенно заметно при выполнении поздних гербицидных обработок. Исключение составляют ранние этапы развития зерновых - 2–3 листа у пшеницы, где скорость обработки может быть увеличена до 14 – 16 км/ч.*

Ключевые слова: *распылители, гербициды, прицепной опрыскиватель, высота штанги, зерновые культуры.*

ANALYSIS OF THE WORK OF FIELD SPRAYERS

[1]**Bashkirev Anatoly Petrovich**
[1]**Schwartz Anatoly Adolfovich**
[1]**Shkabenko Alexander Yuryevich**
[1]*FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"*

Abstract. *It is known that when the sprayer is working in the field, the uniformity of the distribution of the working fluid solution along the boom depends on many factors, among which the most significant are correctly selected sprayers in the spray system and proper setting of the boom height. It has been established that for most regions of Russia, during the spraying period, the weather is characterized by low air humidity, which is why, in addition to slot sprayers, which must be used in favorable weather conditions, injection single-torch sprayers will be especially demanded for introducing post-emergence herbicides of cereal crops. They are free from many of the drawbacks of slotted analogs, since mixing of the liquid with air occurs inside the atomizer, the composition of the resulting droplets of the working solution is stable, which move at a high speed, which increases the degree of penetration into the stem and reduces losses. Spraying rate studies have been carried out when applying post-emergence cereal herbicides. It was revealed that with a higher speed, more herbicide used is deposited on the crop itself. This process leads not only to a decrease in the effect of the herbicide on weeds, but also to a depressing effect on the crop - phytotoxicity. The spraying speed should not exceed 12 km/h. An increase in the spraying rate causes a decrease in the penetration of the working fluid to the weeds, which is especially noticeable when performing late herbicidal treatments. An exception is the early stages of cereal development - 2-3 leaves in wheat, where the processing speed can be increased to 14–16 km/h.*

Keywords: *sprayers, herbicides, trailed sprayer, boom height, crops.*

Введение. Современные направления совершенствования сельского хозяйства показывают, что все большую роль в конечном получении больших урожаев занимают действия по интегрированной защите растений от сорняков. Первостепенными ее принципами являются - стабилизация экологического равенства, резкое уменьшение кратности и объемов проводимых обработок. Добиться этого возможно за счет комплексной защиты растений, которая включает физические, агротехнические, химические и биологические методы. На данном этапе развития химические методы защиты растений являются наиболее перспективными и не имеют альтернатив в своей сфере [10].

Анализ структуры стоимости работ по защите растений показывает, что значительная доля затрат приходится на приобретение гербицидов. Вследствие чего эффективность применения гербицидов не может только рассматриваться с точки зрения их химической активности или качества. Представленную проблему необходимо решать в совокупности с эффективной работой опрыскивателя и использованием высококачественных препаратов.

Качественная работа опрыскивателей основывается на соблюдении ряда агротехнических условий, среди которых наиболее значимыми являются: равномерность распределения раствора рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя и вдоль движения агрегата. Равномерность распространения раствора рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя зависит от многих факторов, в числе которых наиболее значительными являются – правильная установка высоты штанги и грамотно подобранные распылители в системе распыла. Распылители – одна из важнейших частей опрыскивателя. Они в большей степени обусловливают эффективность применения гербицида, общее удовлетворение результатом после внесения и степень сноса [2, 4].

Система распыла жидкости определяет качество работы опрыскивателя и является наиболее важной частью. В агротехнических условиях качество распыла оценивается численно коэффициентом вариации. Например, во Франции этот показатель не должен превышать 10 %, в Германии и Англии – 7 %, в США – 5 %. В России принято ограничение в 25 % для отечественных распылителей и 15 % для импортных. Важно отметить, что на каждый процент неравномерности распространения рабочего раствора требуется 0,4 % по объему его неэффективного применения. Иначе говоря, при распределении опрыскивателем рабочего раствора с неравномерностью 20 %, теряется около 8 % [6].

Сравнительный анализ показал, что при коэффициенте вариации до 7% возможно достигнуть 100% эффективности от использования гербицидов даже при уменьшении доли внесения больше чем в два раза. Следовательно, при эксплуатации опрыскивателей обязательно нужно уделять отдельное внимание выбору распылителей, а также техническому состоянию штанги. Используемые распылители должны формировать симметричные факелы без видимых струй и пустот, обеспечивать равномерный расход рабочей жидкости [1].

Материалы и методика. В качестве предмета исследования выберем рыспылитель для внесения гербицидов зерновых культур. Рассматривая вопрос выбора распылителя, необходимо отметить, что злаковые сорняки при опрыскивании востребована низкая концентрация рабочей жидкости и более мелкое ее распыление.

Проведем сравнительный анализ различных типов распыливающих наконечников в разных условиях их функционирования (рисунок 1).

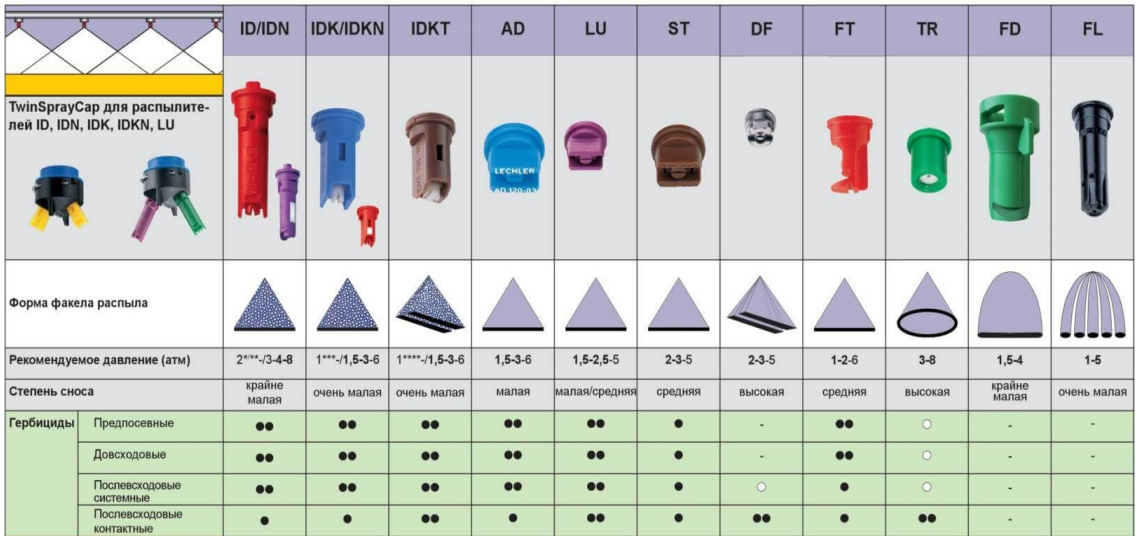


Рисунок 1 – Характеристики распыливающего наконечника

Инжекторный распылитель типа ID/IDN использует высокое рабочее давление (0,3 – 0,8 МПа). Конструкция распыливающего наконечника позволяет получать мелкокапельное нанесение раствора на обрабатываемую поверхность и лучше защищен от воздействия встречного потока воздуха при распылении, что говорит о его высокой эффективности.

Инжекторный распылитель типа IDK/IDKN работает при более низких рабочих давлениях (0,25 – 0,3 МПа). В процессе опрыскивания он менее эффективно покрывает поверхность растений, особенно внутри объема стеблестоя.

Инжекторный двухфакельный распылитель типа IDKT имеет два факела распыла, работающих при давлении 0,25 – 0,3 Мпа, что позволяет ему создавать мелкокапельное нанесение препаратов на поверхность растений. Не рекомендуется использовать при температуре воздуха больше 24 °С и влажности меньше 55 %.

Однофакельные щелевые плоскоструйные распылители типа LU, ST рекомендуется применять в условиях температуры воздуха не более 24 °С, влажности воздуха выше 65 %. При этом распыливающий наконечник создает мелкокапельный факел рабочей жидкости, наносимый на поверхность растений.

Двухфакельный щелевой распылителивающий наконечник типа DF позволяет получать мелкокапельный распыл рабочей жидкости на поверхности растений и сорняков и более требовательны к внешним условиям работы (температуры воздуха – 21 °С, влажность воздуха не менее 65 %, малые значения скорости ветра).

Для внесения почвенных гербицидов эффективно применять дефлекторные распылители типа FD.

Для обработки садов фунгицидами и инсектицидами с большой эффективностью можно применять распыливающие наконечники типа TR с полым конусом, которые позволяют создавать зоны перекрытия с повышенным внесением химических препаратов. Для обработки полевых культур применение не рекомендуется.

Распыливающие наконечники типа FD и FL рекомендуется применять для внесения жидких удобрений при их внесении контактным способом на поверхности растений для повышения качества полученного урожая сельскохозяйственных культур [5].

Проводя сравнительный анализ, можно отметить, что при образовании мелкокапельного состояния рабочей жидкости они более полно и равномерно покрывают обрабатываемый объект, хорошо удерживаются на поверхности листьев и стеблей растений, менее подвержены смыванию дождем, не подвергают растения ожогам и более эффективно наносятся на поверхность, особенно при работе с гербицидами.

В период проведения химических обработок полевых культур значительно варьируются погодные условия, что накладывает отпечаток на применения того или иного типов распыливающих наконечников. При этом щелевые распыливающие наконечники менее качественно выполняют процесс опрыскивания чем инжекторные, которые за счет лучшего каплеобразования эффективно обрабатывают растение сельскохозяйственных культур и сорняков.

Проводя исследования, мы выяснили, что скорость опрыскивания при внесении послевсходовых гербицидов исчерпывается зерновыми культурами. С более высокой скоростью, больше используемого гербицида будет откладываться на самой культуре. Этот процесс может привести не только к уменьшению влияния гербицида на сорняки, но также к угнетающему воздействию на зерновой культуре (фитотоксичности).

Для проведения послевсходовых гербицидных обработок скорость опрыскивания не должна превышать 12 км/ч. Повышение скорости опрыскивания вызовет снижение проникновения рабочей жидкости к сорнякам, что будет особенно заметно при выполнении поздних гербицидных обработок (фаза выхода в трубку у зерновых). Исключение могут составлять зерновые, скорость обработки которых может быть увеличена до 14–16 км/ч на ранних этапах развития (2–3 листа у пшеницы) (рисунок 2).

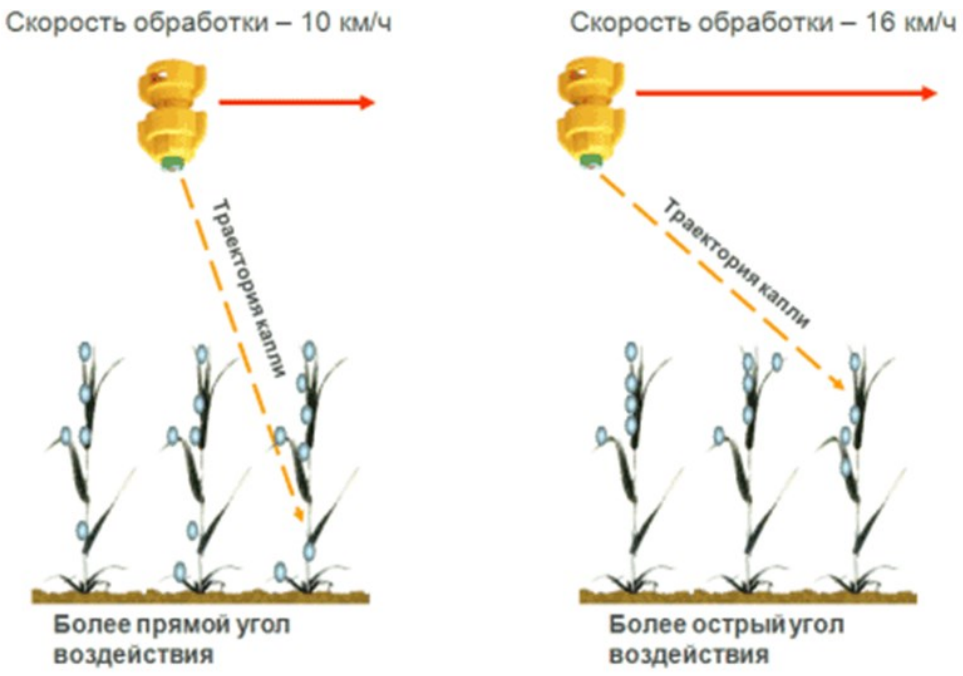


Рисунок 2 – Влияние скорости опрыскивания на степень проникновения рабочей жидкости к сорнякам

Для равномерного распределения рабочего раствора жидкости опрыскивателя, необходимо грамотно настроить высоту штанги над обрабатываемой культурой. Величина сноса капель ветром зависит от правильного выбора данного параметра. Его высчитывают в зависимости от шага расстановки распылителей на штанге и угла факела распыла. Например, при угле факела распыла 80 - 90° оптимальная высота штанги составит 0,6 - 0,9 м, 110 ° – 0,4 - 0,6, 120 ° – 0,4 - 0,7 м [8].

Также необходимо правильно рассчитывать высоту штанги в зависимости от условий опрыскивания. При внесении гербицидов на начальной стадии развития сорняков высоту штанги определяют от поверхности поля. На переросших сорняках различной высоты ориентиром для установки штанги является средняя их высота.

Применение гербицидов на зерновых может осложниться после фазы кущения, когда культурные растения, которые достигли высоты 14 - 26 см, затеняют собой сорняки и большая часть вносимых препаратов оседает на листьях культуры. При работе на повышенных скоростях ситуация усложняется. Снизить процент сноса капель ветром возможно понижением высоты штанги.

В данном случае использование распылителя с большей величиной угла распыла, увеличение которого с 75 - 85 до 105 - 115° позволит снизить высоту штанги ориентировочно на 20 см. Если при этом не получится устранить значительный снос капель, необходимо перейти на инжекторные распылители или их увеличенный калибр, уменьшить давление рабочего раствора, а также скорость опрыскивателя.

Рассматривая варианты распылителей послевсходовых гербицидов зерновых культур, представленных на российском рынке, можно выделить распылитель с варьируемым размером капель «БОКСЕР» компании «Сингента». Распылитель разработан для высококачественного опрыскивания и уменьшенных доз внесения химических препаратов (рисунок 3).

Рисунок 3 – Распылитель «БОКСЕР» компании «Сингента»

Характеристика опрыскивателя:
- Расход рабочей жидкости — 100–200 л/га;
- Скорости обработки — 8–16 км/ч;
- Оптимальная высота штанги — 0,5 метра;
- Угол факела распыла — 83°;
- Угол атаки факела распыла — 40°;
- Диапазон рабочего давления — 1,5–4 атмосферы;
- Оптимальное рабочее давление — 2–2,5 атмосферы;
- В зависимости от давления размер и количество капель варьируется.

Преимущества использования:

-Возможное снижение расхода рабочей жидкости до 100 л/га;

-Повышение скорости обработки без потери эффективности и риска для культуры;

-Уменьшение воздействия встречного воздушного потока в два раза по сравнению с производственными аналогами, что способствует более равномерному нанесению препаратов. Исключение составляют передозировки на злаковые сорняки;

-При использовании на переросших посевах обеспечивается лучшее проникновение рабочей жидкости в стеблестой;

-Лучшая эффективность при внесении послевсходовых гербицидов;

-Уменьшение влияния параметров высоты штанги [3].

Возвращаясь к вопросу эффективной работы опрыскивателя, необходимо отметить, что выбор материала, из которого изготавливается распылитель, играет значительную роль. Определено, что ресурс работы распыливающих наконечников зависит от различных факторов, в частности от материала, рабочего давления, ежедневного ухода обслуживания опрыскивателя промывочными жидкостями после работы. Установлено, что наибольшая наработка у керамических распыливающих наконечников, а в полимерных – в 6 раз меньше.

Проведем сравнительный анализ характеристик прицепного штангового опрыскивателя «Albatros 9/2000» компании «LEMKEN» и прицепного штангового опрыскивателя «UG 2200 Special» компании «AMAZONE» (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик «Albatros 9/2000» и «UG 2200 Special»

Характеристика	«Albatros 9/2000» («LEMKEN»)	«UG 2200 Special» («AMAZONE»)
Ширина захвата	21 м	21 м
Объем основного бака для рабочего раствора	2200 л	2400 л
Тип насоса	мембранно-поршневой	мембранно-поршневой
Производительность насоса	250 л/мин	250 л/мин.
Смешивание	гидравлическая мешалка	гидравлическая обратная мешалка
Бак для чистой воды	200 л	300 л
Тип автоматическое вождение	SPRAYDOS	AMASPRAY+
Держатель распылителей (количество распылителей)	1 или 3	3 или 4
Диапазон изменения ширины колеи	150 - 225 см	150 - 225 см

Прицепной штанговый опрыскиватель «Albatros 9/2000» компании «LEMKEN» имеет легко очищающийся бак из стеклопластика с гладкой внешней и внутренней поверхностью объёмом от 2 200 литров со встроенным баком для чистой воды (рисунок 4). Система трубопроводов позволяет качественно перемешивать рабочие жидкости в баке.

Рисунок 4 – Прицепной штанговый опрыскиватель «Albatros 9/2000»

Штанга из Z-образного профиля с рабочей шириной 21 м и различными типами секций и складывания позволяет применять при обработке всех сельскохозяйственных культур, регулируя положение штанги по высоте, добиваясь тем самым эффективную обработку почвы или посевов.

Компьютер опрыскивателя Spraydos позволяет с водительского сидения при помощи электроники управлять клапанами регулировки количества вносимой жидкости, клапанами отдельных секций, а также центральными клапанами и устанавливать необходимую норму расхода рабочей жидкости. Первостепенные данные, такие, как обрабатываемая площадь, время, количество внесенной смеси, скорость, расход жидкости, обрабатываются, учитываются и могут быть использованы в любое время [9].

Прицепной штанговый опрыскиватель «UG 2200 Special» компании «AMAZONE» имеет компактный бак из полиэтилена в высшей степени надежен и крепок (рисунок 5). Полностью гладкие внешние и внутренние стенки, закругленные углы и компактные контуры бака в задней части позволяют проводить простую и быструю очистку снаружи и изнутри. Также очень мало раствора остается на дне его бака благодаря особой форме.

Рисунок 5 – Прицепной штанговый опрыскиватель «UG 2200 Special»

Компактные штанги AMAZONE и форма бака UX гарантируют компактные транспортные габариты и низкое расположение центра тяжести. Помимо того, штанга расположена на параллелограммной подвеске непосредственно за колесами.

Корректная норма расхода устанавливается надежно, быстро, автоматически с помощью устройств регулирования. Точечная настройка равного давления не требуется. Уменьшение давления создает отключение форсунок без подтекания. Распределительные вентили размещены в штангах сзади, благодаря чему доступ к ним хороший.

Компьютер AMASPRAY+ имеет в своем составе цифровой дисплей для отображения уровня заполнения бака и давления. Обработанную площадь и внесенное количество регистрирует бортовой компьютер. Управление гидравлическими функциями осуществляется при помощи гидрораспределителей трактора. Блокировка и наклон штанг также отражается на AMASPRAY+. В качестве опции посредством AMASPRAY+ возможно также либо управление конечными или крайними форсунками, либо управление односторонним складыванием штанг.

Имеющие обратные клапаны исключают подтекания распылиетелей при их отключении, а установочные затворы гарантируют быструю замену форсунок без использования инструментов. Трех- и четырехкорпусные форсунки подходят при постоянной замене форсунок для различных

культур, препаратов и областей применения. Защитные трубки форсунок на крайних коленах штанг по всей ширине захвата гарантируют защиту многокорпусных креплений инжекторных форсунок [11].

Выводы. 1. Наибольшее влияние на качественную работу опрыскивателя в полевых условиях оказывает равномерность распространения раствора рабочей жидкости по ширине захвата штанги, правильно подобранные распылители в системе распыла и грамотная установка высоты штанги.

2. Распылители в большей степени влияют на качество применения гербицида, общее удовлетворение результатом после обработки объектов и степень сноса рабочей жижкости под воздействием воздушных потоков

3. Проведены исследования скорости опрыскивания при внесении послевсходовых гербицидов зерновых культур. Выявлено, что с более высокой скоростью, больше используемого гербицида откладывается на самой культуре. Этот процесс приводит не только к уменьшению влияния гербицида на сорняки, но также к угнетающему воздействию на зерновой культуре - фитотоксичности. Скорость опрыскивания не должна превышать 12 км/ч. Повышение скорости опрыскивания вызывает снижение проникновения рабочей жидкости к сорнякам, что особенно заметно при выполнении поздних гербицидных обработок. Исключение составляют ранние этапы развития зерновых - 2–3 листа у пшеницы, где скорость обработки может быть увеличена до 14–16 км/ч.

Список литературы

1. Бабаев А.В. Экономичный способ борьбы с сорняками / А.В. Бабаев // Защита и карантин растений. – 2012. – № 5. – С.38-40.

2. Безуглов В.Г. Анализ технологий и техники для внесения химических средств защиты растений / В.Г. Безуглов // Техника и оборудования для села. – 2013. – № 2. – С. 7-10.

3. Бернштейн Д.Б. Керамические распылители производства ООО «Сингента» /Д.Б. Бернштейн // Защита и карантин растений. – 2015. – № 3. – С.48-50.

4. Вялых В.А. От чего зависит качество работы опрыскивателей / В.А. Вялых, С.Н. Савушкин //Защита и карантин растений. – 2009. – № 19. – С. 67-69.

5. Корнилов Т.В. Модернизация опрыскивающей техники/ Т.В. Корнилов // С.-х. вести. – 2011. – № 3. – С. 33-35.

6. Крук И.С. Снижение потерь гербицидов из-за сноса при проведении обработок в неблагоприятных погодных условиях/ И.С. Крук // Экология и с.-х. техника. – 2014. –№7. – С. 50-56.

7. Лысов А.К. Совершенствование механизации опрыскивания растений/ А.К. Лысов // Защита и карантин растений. – 2012. – № 6. – С. 48-49.

9. Пушкарев Б.В. Устройство для опрыскивания нижней поверхности листьев/ Б.В. Пушкарев // Защита и карантин растений. – 2011. – № 5. – С. 23-26.

10. Прицепной штанговый опрыскиватель «Albatros 9/2000» // Проспект фирмы «LEMKEN» (Германия). – 2017. – 2 р.

11. Ревякин Е.Л.. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: науч. аналит. обзор./ Е.Л. Ревякин, Н.Н. Краховецкий. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 56 с.

12. Электронный прибор AMASPRAY+ для управления полевыми опрыскивателями = «UG 2200 Special» // Проспект фирмы «AMAZONE» (Германия). – 2017. – 3 р.

References

1. Babaev A.V. An economical way to control weeds / A.V. Babaev // Protection and quarantine of plants. - 2012. - No. 5. - P.38-40.

2. Bezuglov V.G. Analysis of technologies and techniques for introducing chemical plant protection products / V.G. Bezuglov // Technique and equipment for the village. - 2013. - No. 2. - S. 7-10.

3. Bernstein DB Ceramic spray guns manufactured by Syngenta LLC / DB. Bernstein // Protection and Quarantine of Plants. - 2015. - No. 3. - S.48-50.

4. Vyalykh V.A. What determines the quality of work of sprayers / V.A. Vyalykh, S.N. Savushkin // Protection and quarantine of plants. - 2009. - No. 19. - S. 67-69.

5. Kornilov T.V. Modernization of spraying equipment / T.V. Kornilov // S.-kh. to lead. - 2011. - No. 3. - S. 33-35.

6. Kruk I.S. Decrease in losses of herbicides due to demolition during processing in adverse weather conditions / I.S. Crook // Ecology and S.-kh. Technics. - 2014. –№7. - S. 50-56.

7. Lysov A.K. Improving the mechanization of spraying plants / A.K. Lysov // Protection and quarantine of plants. - 2012. - No. 6. - S. 48-49.

8. Pushkarev B.V. A device for spraying the lower surface of the leaves / B.V. Pushkarev // Protection and quarantine of plants. - 2011. - No. 5. - S. 23-26.

9. Trailed boom sprayer "Albatros 9/2000" // Prospectus of the company "LEMKEN" (Germany). - 2017 .-- 2 p.

10. Revyakin EL. Machines for chemical plant protection in innovative technologies: scientific. analyte. review. / E.L. Revyakin, N.N. Krahovetsky. - Moscow: Federal State Institution "Rosinformagroteh", 2010. - 56 p.

11. Electronic device AMASPRAY + for controlling field sprayers = "UG 2200 Special" // Prospectus of the company "AMAZONE" (Germany). - 2017 .-- 3 p.

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.ru.

Шкабенко Александр Юрьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: shkabenko.al@yandex.ru.

Information about authors

Organization affiliation

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

Shkabenko Alexander Yuryevich – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: shkabenko.al@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 22.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2019

УДК 631.312.021.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-58-66

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

[1]Лебедев Павел Анатольевич

[1]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Реферат. *Предложен комплексный подход к решению проблемы повышения надежности и эффективности машинно-тракторных агрегатов с учетом реальных условий, включающий*

входной контроль запасных частей, обоснование параметров выбраковки рабочих органов, применение альтернативных источников энергии и развитие форм цифровизации. Выявлены основные причины низкого качества запасных частей: отсутствие надлежащего контроля исходного материала, полуфабрикатов и комплектующих изделий у изготовителя, недостаточный контроль качества изготовления, обкатки, испытаний. Проведенный анализ технического состояния плунжерных пар, поступающих в качестве запасных частей показал, что они имеют заниженный ресурс работы, так как 86 % поступающих деталей имеют гидравлическую плотность, не превышающую t =45,7 с. Полученное распределение свидетельствует о том, что для эффективной работы ТНВД необходимы дополнительные затраты, связанные с перекомплектовкой прецизионных деталей. Установлено, что существующие параметры выбраковки требуют уточнения. Показано, что установленные для плунжерных лемехов параметры выбраковки (критичный износ носовой части, износ по длине носовой части, истирание лезвия) не совсем корректны, так как изнашивание носовой части лемеха и появление затылочной фаски сопровождается не только увеличением тягового сопротивления из-за образования ядра уплотнения, но и выглублением лемеха, приводящем к уменьшению глубины вспашки. При выполнении вспашки с изношенными лемехами коэффициент вариации варьирует до 25% по глубине, а при работе с изношенными культиваторными лапами происходит увеличение тягового сопротивления на 28%. Предложенная зависимость общего расхода топлива (2) при использовании систем спутниковой навигации, может представлять собой комплексный критерий оценки надежности и эффективности МТА при выполнении технологических операций, и служить инструментом для цифрового оперативного управления надежностью и эффективностью производственных процессов в сельскохозяйственных предприятиях.

***Ключевые слова**: надежность, эффективность, процесс, расход топлива, ресурс, износостойкость, энергетическое средство, рабочая машина.*

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MTA IN THE PERFORMANCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

[1]Lebedev Pavel

[1]FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"

***Abstract**. An integrated approach is proposed to solve the problem of increasing the reliability and efficiency of machine-tractor units taking into account real conditions, including input control of spare parts, substantiation of the rejection parameters of working bodies, the use of alternative energy sources and the development of digitalization forms. The main reasons for the low quality of spare parts are identified: the lack of proper control of the source material, semi-finished products and components by the manufacturer, insufficient quality control of manufacturing, running, testing. The analysis of the technical condition of the plunger couples arriving as spare parts showed that they have an underestimated service life, since 86% of the incoming parts have a hydraulic density not exceeding t = 45.7 s. The distribution obtained indicates that for the efficient operation of the high-pressure fuel pump, additional costs are required associated with the re-assembly of precision parts. It is established that the existing culling parameters require clarification. It was shown that the rejection parameters established for plunger shares (critical wear of the bow, wear along the length of the bow, abrasion of the blade) are not entirely correct, since the wear of the bow of the share and the appearance of the occipital bevel is not only accompanied by an increase in traction resistance due to the formation of the seal core , but also by deepening the ploughshare, leading to a decrease in the depth of plowing. When plowing with worn plowshares, the coefficient of variation varies up to 25% in depth, and when working with worn cultivating paws, there is an increase in traction resistance by 28%. The proposed dependence of the total fuel consumption (2), when using satellite navigation systems can be a comprehensive criterion for assessing the reliability and efficiency of MTA in carrying out technological operations, and serve as a*

tool for digital operational control of the reliability and efficiency of production processes in agricultural enterprises.

***Keywords**: reliability, efficiency, process, fuel consumption, resource, wear resistance, energy means, working machine*

Введение. Учитывая нынешнее состояние и перспективы развития АПК, которые предусматривают увеличение выпуска сельскохозяйственной продукции и снижение ее себестоимости, разработку и исследование новых ресурсосберегающих направлений и методологических подходов повышенияэффективности сельскохозяйственного производства за счет совершенствования эксплуатации и ремонта средств механизации.

Анализ исследований показал, что решение указанной проблемы возможно за счет увеличения надежности и эффективности машинно-тракторных агрегатов (МТА) при выполнении технологических процессов, находящихся в реальных условиях эксплуатации [1 – 3].

Экспериментальная часть. Анализируя теоретические и экспериментальные работы, можно установить, что на современном этапе развития науки имеется большое многообразие подходов и направлений, которые посвящены повышению надежности и эффективности МТА при производстве сельскохозяйственной продукции. К числу последних работ, посвященных повышению эффективности технологических процессов с позиции системы ЧМС, можно отнести исследования, которые выполнил И.Э. Липкович [4]. Автором рассмотрены и математически представлены взаимодействия оператора и технологического средства, как человеко-машинной системы, функционирующей во внешней среде, с целью получения результативного продукта. При должном уровне подготовки оператора и подготовленной среды, качественную сторону выполненной работы будут реализовывать рабочие органы, а оценка качества будет осуществляться по времени, затраченному на выполнение данной операции, времени работы и технического состояния МТА.

Существующие разнообразные подходы, рассмотрены с позиции случайных вероятностных процессов, а так же математического описания взаимодействия этих систем с использованием методов теории вероятностей.

Надежность машинно-тракторного агрегата оказывает существенное влияние на эффективность его работы. Поломки деталей и рабочих органов машин, и как следствие их отказ, приводят к нарушению предъявляемых агротребований и вызывают дополнительные затраты из-за увеличения сроков выполнения технологических операций и к потерям продукции. Все это приводит к увеличению себестоимости производимой продукции. В общем виде затраты на ее производство можно представить в следующем виде:

$$З_{общ} = З_{ЗП} + З_{МТА} + З_{С} + З_{У} + З_{СЗР} + З_{ПР}, \quad (1)$$

где $З_{ЗП}$, $З_{МТА}$, $З_{С}$, $З_{У}$, $З_{СЗР}$, $З_{ПР}$ – затратына заработную плату,эксплуатацию и обслуживание МТА (включая топливо-смазочные материалы), семена, удобрения, средства защиты растений ипрочие расходы, соответственно.

Анализ структуры себестоимости производства озимой пшеницы в СПК «Казьминский» Ставропольского края показал, что наибольшая доля затрат приходится на содержание техники и расход топливно-смазочных материалов (ТСМ) – 33… 51% [1]. Велика доля затрат на минеральные удобрения и средства защиты растений 25,2 … 42% [1], которые формируются и определяются видом возделываемой культуры и регионом в котором они производятся. С точки зрения эксплуатации наибольший интерес представляют средства механизации и их эксплуатационные затраты.

Нами предлагается новый комплексный подход к решению проблемы повышения надежности и эффективности машинно-тракторных агрегатов, с учетом реальных условий, в которых в настоящее время осуществляется производство сельскохозяйственной продукции.

На основе обобщения нескольких исследований, в которых отражен ряд новых подходов к решению проблемы надежности и эффективности технологических процессов [2]. Нами были выбраны следующие направления повышения надежности и эффективности МТА (рисунок 1).

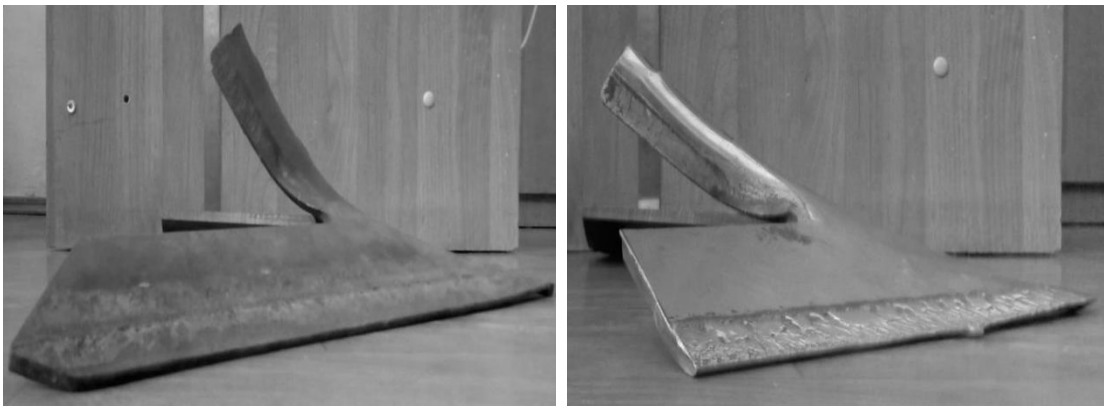
Рисунок 1 – Направления повышения надежности и эффективности МТА

В настоящее время в силу нехватки собственных финансовых средств и недостаточной государственной финансовой поддержки отечественные сельскохозяйственные товаропроизводители не могут обеспечить себя необходимым количеством техники для выполнения сельскохозяйственных работ. В результате этого происходит снижение спроса на новую сельскохозяйственную технику, а нагрузка на имеющуюся постоянно возрастает. За счет увеличения загруженности техники и ее изношенности возрастает потребность в ремонте и, соответственно, в запасных частях. На первый план выходит проблема качества запасных частей.

Анализ исследований за последние годы показал, что количество машин, имеющих отклонения от требований технических условий, составляет 85 – 90 %, среди которых свыше 20 % изготавливаются с нарушениями геометрических размеров [5]. По отдельным группам машин нормативам надежности не соответствуют до 74 % испытанных образцов техники. В село поступают более 40 % бракованных запасных частей.

Остановка МТА для устранения неисправностей при выполнении технологических операций, из-за увеличения продолжительности работы приводит к повышенной нагрузке на другие агрегаты и влечет за собой финансовые убытки. Это связано с изменением состояния обрабатываемой среды (как например, иссушение или увлажнение почвы), что приводит к увеличению расхода топлива, а при уборке урожая к простою зерноуборочных комбайнов из-за неисправностей, к потере производимой продукции.

Проблема качества запасных частей, которые поступают производителям сельскохозяйственной продукции, является очень важной. Например, при выполнении сплошной обработки почвы, выполняемой агрегатом Challenger MT800E LRC+FortschrittP 437, из-за деформации стрельчатых лап (рисунок 2), произошел простой данного агрегата для замены отказавших рабочих органов (12 культиваторных лап).



а б

Рисунок 2 – Новая культиваторная лапа (а) и разогнутая культиваторная лапа (б)

Причиной его стало неправильное конструктивное исполнение основания хвостовика у поставляемых торговыми компаниями культиваторных лап, предложенных вместо оригинальных деталей. После выполненных исследований данных аналогов, выявлено дополнительно к конструктивным отклонениям, что они не соответствовали по твердости материала основы и его режущей кромки. Основными причинами низкого качества таких изделий является отсутствие надлежащего контроля исходного материала, полуфабрикатов и комплектующих изделий у изготовителя, недостаточный контроль качества изготовления, обкатки, испытаний и др.

Согласно зависимости (1), эффективность технологического процесса зависит от расхода топлива. При анализе технического состояния прецизионных деталей, чаще всего используются комплексные показатели. Например, комплексным показателем оценки плунжерных пар является гидравлическая плотность, по которому предусматривается их деление на группы плотности.

Проведенный анализ технического состояния плунжерных пар, поступающих в качестве запасных частей по показателю гидравлической плотности, показал (рисунок 3), что до 86 % поступающих деталей имеют гидравлическую плотность, не превышающую t = 45,7 с, при среднем значении 43,4 с и среднем квадратическом отклонении σ = 2,29 с.. Следовательно, большинство новых плунжерных пар имеют заниженный ресурс работы.

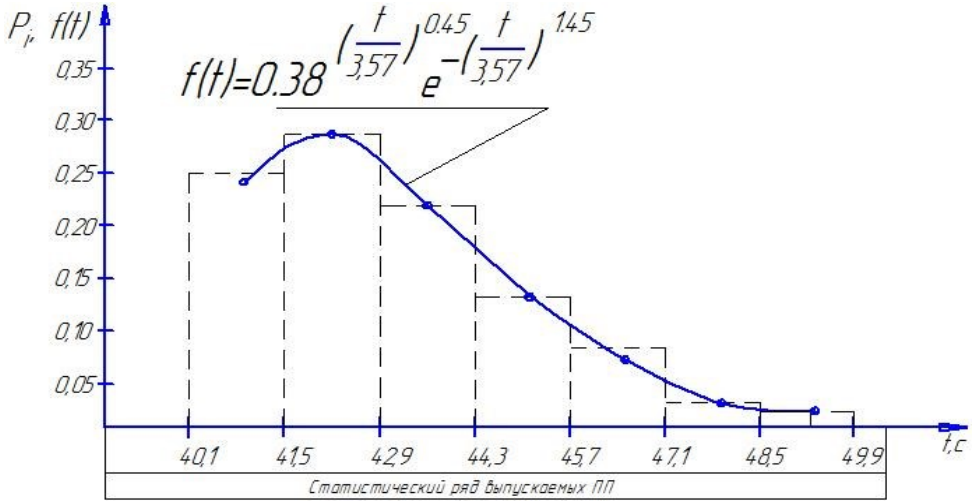
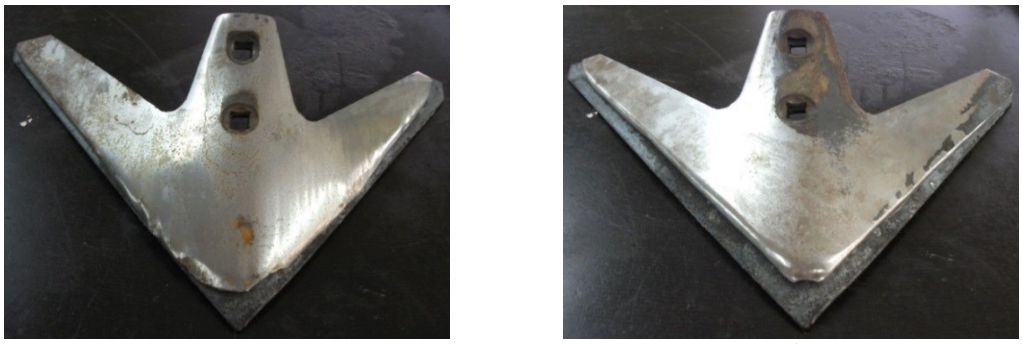


Рисунок 3 – Распределение гидравлической плотности выпускаемых плунжерных пар

При комплектовании ТНВД энергетических средств была проведена оценка технического состояния плунжерных пар по гидравлической плотности, для партии изделий предоставленных ЗАО КПК «Ставропольстройопторг» [6]. Снижение контролируемого показателя приводит к ухудшению топливоподачи и, как следствие, к увеличению общего расхода топлива на не установившихся режимах работы, а также при неполной загрузке двигателя. Полученное распределение свидетельствует о том, что для эффективной работы ТНВД необходимы дополнительные затраты, связанные с перекомплектовкой прецизионных деталей.

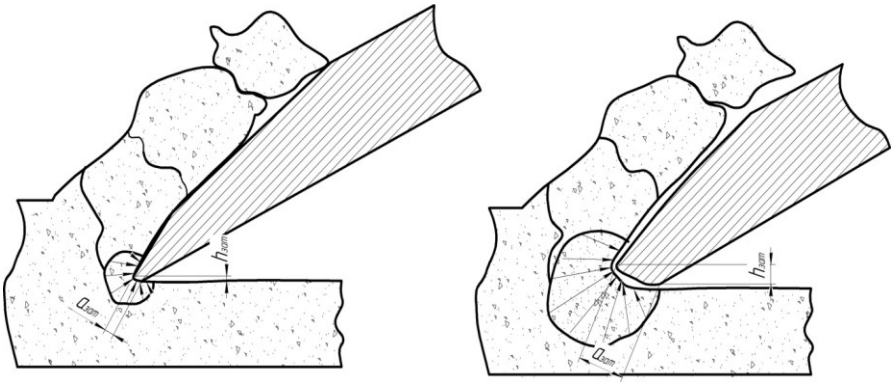
Не менее важным направлением повышения надежности и эффективности МТА является установление и при необходимости корректировка параметров выбраковки рабочих органов, которые должны быть связаны с качеством выполняемых операций и условиями эксплуатации. Как показывает практика эксплуатации культиваторных лап, выбраковка их идет после износа «крыльев», в связи с тем, что возникают необработанные участки почвы и не уничтоженные сорняки. Данные критерии требуют уточнения, поскольку износ носовой части рабочих органов почвообрабатывающих орудий (рисунок 4) приводит к более резкому увеличению тягового сопротивления на 28 % [6] и нарушению качества выполняемой технологической операции, чем достижение предельного износа «крыльев». В зависимости от условий эксплуатации, замена таких рабочих органов должна осуществляться по критерию износа носовой части или замене накладного элемента как предложено в [6].



а б

Рисунок 4 – Изношенные стрельчатые культиваторные лапы в сравнении с новыми

Для плунжерных лемехов параметром выбраковки является критичный износ носовой части, износ по длине носовой части, истирание лезвия. Данные критерии на наш взгляд являются не совсем корректными, так как изнашивание носовой части лемеха и появление затылочной фаски сопровождается не только увеличением тягового сопротивления из-за образования ядра уплотнения (рисунок 5), но и выглублением лемеха, приводящем к уменьшению глубины вспашки.



а б

Рисунок 5 – Схема воздействия лезвия лемеха на почву: а – острое лезвие;
б – затупленное с затылочной фаской

В рассмотренных примерах, изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин приводит к резкому уменьшению качества выполняемых операций. При выполнении вспашки с изношенными лемехами коэффициент вариации изменяется до 25% по глубине, а при культивации с изношенными стрельчатыми лапами происходит увеличение тягового сопротивления на 28%.

Для обеспечения надежности и эффективности рабочих органов почвообрабатывающих машин, необходимы отдельные подходы и контроль по выбраковочному показателю деталей.

Анализ уравнения (1) показывает, что существенная доля затрат при производстве продукции приходится на топливо. Как уже было сказано техническое состояние рабочих органов и запасных частей топливной аппаратуры будет оказывать влияние на затраты топлива, но в тоже время немаловажную роль оказывает стоимость используемого топлива. С целью уменьшения стоимости топлива для энергетических средств используются альтернативные источники энергии, имеющие более низкую стоимость, среди которых наибольшее распространение получили следующие виды:

1. Биодизельное топливо на основе растительных масел;
2. Смеси обезвоженных спиртов (этилового, метилового, бутилового) с бензином для двигателей с искровым зажиганием;

3. Диметиловый эфир – топливо для дизелей с хорошими экологическими качествами, полученное синтезом из газа, угля, сланцев;

4. Синтетическое жидкое углеводородное топливо, получаемое по методу Фишера-Тропша из синтез газа (СГ), исходными продуктами для получения которого могут быть биомасса, газ, уголь и сланцы;

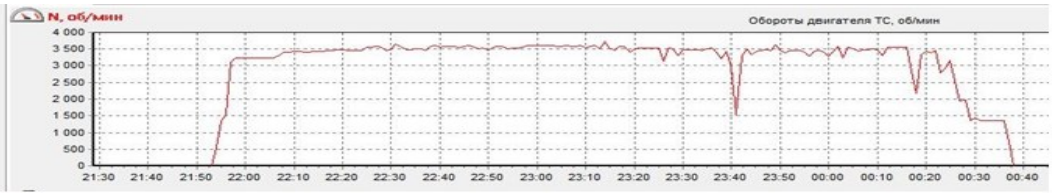
5. Компримированый природный газ, сжиженый природный газ.

Наибольшее распространение из альтернативных источников энергии получили компримированый и сжиженый природный газ. Это объясняется тем, что данные виды топлива имеют высокую теплотворную способность и меньшую стоимость. При этом по количеству запасов среди природных ресурсов природный газ является вторым после нефти.

Одним из важных методов повышения надежности МТА в эксплуатации является оперативное управление их надежностью. Производственная эксплуатация является ключевым моментом жизненного цикла любых технических средств. В современных условиях большую значимость приобретает цифровизация, которую можно рассматривать как эффективный способ оперативного управления производственными процессами. Цифровизация транспорта занимает особенную нишу и пользуется все возрастающим спросом не только у транспортных компаний, которые осознают необходимость контроля водителей, чтобы те не отклонялись от маршрута, но и у сельскохозяйственных предприятий, что объясняется возможностями современных систем спутникового мониторинга транспорта [7].

Устройство слежения работает в режиме реального времени с применением режима «черный ящик». При отсутствии GSM связи данные сохраняются в памяти прибора. Память «черного ящика» работает автономно в течение 2-6 месяцев. После появления GSM сигнала система GPS мониторинга автоматически передает данные на телематический сервер. Навигационный терминал позволяет в реальном времени определять местонахождение объекта, а так же передавать данные о скоростных режимах, расходе топлива, оборотах коленчатого вала и т.д. Примером использования данной системы, для контроля показателей МТП, является учебно-опытное хозяйство Ставропольского ГАУ (рисунок 6).

Транспортные работы (трактор МТЗ-80)



Вспашка (трактор JohnDeere 9030)

Посев (трактор NewHolland T9000)

Рисунок 6 – Изменение частоты вращения коленчатого вала при выполнении технологических операций, полученные при помощи спутниковой системы навигации АвтоСкан JPS

Штатные системы цифровизации уже применяются в сельскохозяйственной технике, но количество такой техники в Ставропольском крае не превышает 15 %, в основном эти системы импортного производства. Наиболее полно цифровизация применяются в системах точного земледелия, с использованием спутников, GPS-трекеров и т.д.

Система слежения за транспортом представляет собой электронный прибор, с подключаемыми к нему датчиками, которые устанавливаются на каждую единицу контролируемого транспорта. Система использует GSM-модем для обмена данными и систему GPS-навигации для определения координат. Наблюдать за движением ваших транспортных средств можно с компьютера, имеющего доступ в Интернет.

Наиболее точный способ передачи поправок подразумевает наличие отдельного приемника – диспетчерской службы. Диспетчерская служба получает данные в режиме реального времени. Получая данные, диспетчер имеет возможность вносить коррективы в работу техники, например, перенаправляя технику с более изношенными деталями на выполнение технологических операций требующих большей загрузки двигателя, с целью снижения общего расхода топлива.

На основании выполненного анализа, учет критериев расхода топлива на различных режимах работы, установление параметров выбраковки рабочих органов, разработка средств контроля с возможностью их централизованной передачи и цифровизации, позволили представить математическую зависимость в следующем виде:

$$G_{\text{общ}} = G_{\text{н}} \cdot \text{T}_{\text{общ}}\left[k_{\text{рх}} \cdot \tau_{\text{рх}}\left(1+\delta_{\text{рх}}\right) + k_{\text{хх}} \cdot \tau_{\text{хх}}(1+\delta_{\text{хх}}) + k_{\text{о}} \cdot \tau_{\text{о}}(1+\delta_{\text{о}}) + k_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{п}}(1+\delta_{\text{п}})\right] \quad (2)$$

где $G_{н}$ – номинальный расход топлива; $T_{общ}$–общее время работы;

$k_{рх}$, $k_{хх}$,$k_{о}$,$k_{п}$ - коэффициент, учитывающий отношение расхода топлива соответственно при рабочем, холостом ходе, остановках и переездах к расходу топлива при номинальных оборотах;

$\delta_{рх}$,$\delta_{хх}$,$\delta_{о}$,$\delta_{п}$ - неравномерность подачи топлива соответственно при рабочем, холостом ходе, остановках и переездах, обусловленная режимами работы двигателей и техническим состоянием запасных частей топливной аппаратуры;

$\tau_{рх}$,$\tau_{хх}$,$\tau_{о}$,$\tau_{п}$ - коэффициент, учитывающий период работы МТА соответственно при рабочем, холостом ходе, остановках и переездах от общего времени выполнения операции.

Выводы. Предлагаемый подход к повышению надежности и эффективности МТА позволил реализовать метод повышения гидравлической плотности плунжерных пар, за счет нанесения тонкопленочного покрытия. После нанесения тонкопленочного покрытия на рабочие поверхности новых плунжерных пар распределение гидравлической плотности изменилось таким образом, что 82% экспериментальных плунжерных пар имеют гидравлическую плотность, превышающую t =45,7с. Реализация метода входного контроля и перекомплектация обеспечили Неравномерность топливоподачи по секциям при различных режимах работы колеблется в пределах 1,2…1,5%. Контроль качества почвообрабатывающих машин по критериям соответствия заявленным требованиям дает возможность сэкономить 5…6% на каждом рабочем органе. Реализация направления параметров выбраковки на примере процесса культивации дала возможность установить, что износ носовой части одной культиваторной лапы на 30…40 мм приводит к увеличению тягового сопротивления до 28%. Реализация направления альтернативные источники энергии на примере КПГ позволила снизить затраты на выполнение технологических операций до 43%. Реализация метода цифровизации позволяет своевременно определить необходимость замены не только рабочих органов, но и установить причины до срочного проведения ремонта МТА. Предложенная зависимость общего расхода топлива (2) при использовании систем спутниковой навигации, может представлятьсобой комплексный критерий оценки надежности и эффективности МТА при выполнении технологических операций, и служить инструментомдля цифрового оперативного управления надежностью и эффективностью производственных процессов в сельскохозяйственных предприятиях.

Список литературы

1. Лебедев А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: Монография. – Ставрополь, 2012. – 376 с.

2. Лебедев А.Т. Оценка технических средств при их выборе: Монография. – Ставрополь, 2011. – 124 с.

3. Лебедев А.Т., Лебедев П. А. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 43-45.

4. Липкович И.Э. Механико-эргономическое обоснование человекомашинных систем в агроинженерной сфере растениеводства [Текст] / Липкович И.Э. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. Зерноград, 2004

5. Дорохов А.С.Повышение эффективности входного контроля качества запасных частей и сельскохозяйственой техники [Текст] / Дорохов А.С. Диссертация на соискание ученой степенидоктора технических наук / Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. Москва, 2011

6. Лебедев А.Т., Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В., Марьин Н.А. Расход топлива при выполнении технологических операций // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 83-91.

7. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Креймер А.С. Точное земледелие: состояние и перспективы– Краснодар : КубГАУ, 2018. – 27 с.

References

1. Lebedev A.T. Resursosberegayushchie napravleniya povysheniya nadezhnosti i effektivnosti tekhnologicheskih processov v APK: Monografiya. – Stavropol', 2012. – 376 s.

2. Lebedev A.T. Ocenka tekhnicheskih sredstv pri ih vybore: Monografiya. – Stavropol', 2011. – 124 s.

3. Lebedev A.T., Lebedev P. A. Povyshenie effektivnosti dizel'noj toplivnoj apparatury // Traktory i sel'hozmashiny. – 2011. – № 7. – S. 43-45.

4. Lipkovich I.E. Mekhaniko-ergonomicheskoe obosnovanie chelovekomashinnyh sistem v agroinzhenernoj sfere rastenievodstva [Tekst] / Lipkovich I.E. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskih nauk / Azovo-CHernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya. Zernograd, 2004

5. Dorohov A.S.Povyshenie effektivnosti vhodnogo kontrolya kachestva zapasnyh chastej i sel'skohozyajstvenoj tekhniki [Tekst] / Dorohov A.S. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepenidoktora tekhnicheskih nauk / Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina. Moskva, 2011

6. Lebedev A.T., Zaharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V., Mar'in N.A. Raskhod topliva pri vypolnenii tekhnologicheskih operacij // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 5 (29). – S. 83-91

7. Truflyak E.V., Kurchenko N.YU., Krejmer A.S. Tochnoe zemledelie: sostoyanie i perspektivy– Krasnodar : KubGAU, 2018. – 27 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Лебедев Павел Анатольевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Lebedev Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2019

УДК 621.892.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-67-75

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СЕДИМЕНТАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА В СМАЗОЧНОЙ СРЕДЕ

[1]Сафонов Валентин Владимирович
[1]Уткин Виктор Владимирович
[1]Сафонов Константин Валентинович
[1]Мухин Виктор Алексеевич
[2]Добринский Эдуард Константинович
[3]Остриков Валерий Васильевич

[1]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
[2]ГНЦ РФ АО «Государственный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и элементоорганических соединений»
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *При безразборном методе ремонта агрегатов и трущихся деталей машин используют специальные смазочные композиции, модифицированные наноразмерными порошкообразными материалами. Изучали влияние диспергирующе-стабилизирующей добавки в виде поверхностно-активных веществ (ПАВ) на стабилизационную устойчивость наноразмерного порошка в моторном масле и режима ультразвуковой обработки полученной суспензии для повышения седиментационной устойчивости таких композиций. Использовали состав смазочной композиции «Кластер» разработанный на кафедре «Техническое обеспечение АПК» Саратовского ГАУ, представляющий собой суспензию из масла МС-20, смеси наноразмерных порошков цветных металлов и олеиновой кислоты (ПАВ). Приготовление смазочной композиции производили в специальной установке при температуре 140 ^{0}С и механическом перемешиванием в течении 15 минут. В смазочной композиции использовали нанодисперсный порошок полученный методом плазменной переконденсации. Для исследования влияния ультразвука на седиментационную устойчивость полученной смазочной композиции применяли ультразвуковую ванну ОЗУ-025. Полученные экспериментальные результаты показали, что обработка ультразвуком при различных режимах ухудшает седиментационную устойчивость присадки «Кластер». Седиментационную устойчивость определяли через 1–3 суток. С увеличением продолжительности обработки от 5 до 30 минут ускоряется процесс осаждения дисперсной фазы суспензии. Рекомендовали при приготовлении смазочных композиций на основе наноразмерных частиц ограничиться их механическим перемешиванием при определенной температуре и концентрации ПАВ.*

Ключевые слова: *долговечность, безразборный сервис, наноразмерный порошок, ульразвуковая обработка, седиментационная устойчивость, поверхностно-активные вещества, присадка, суспензия.*

INFLUENCE OF ULTRASOUND ON THE SEDIMENTATION STABILITY OF A NANODISPERSED POWDER IN LUBRICANT MEDIUM

[1]Safonov Valentin
[1]Utkin Victor
[1]Safonov Konstantin
[1]Mukhin Victor
[2]Dobrinsky Eduard
[3]Ostrikov Valery

[1]FSBEI HE "Saratov State Vavilov Agrarian University"
[2]"State Scientific Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds"
[3]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *Special lubricant compositions modified with nanosized powder materials are used in the non-disassembling method of repairing aggregates and rubbing machine parts. The effect of dispersing-stabilizing additives in the form of surface-active substances (surfactants) on the stabilization stability of nanosized powder in motor oil and the ultrasonic treatment regime of the resulting suspension to study the sedimentation stability of such compositions was studied. The composition of the lubricant composition "Cluster", developed at the Department of "Technical Support of the Agro-Industrial Complex" of the Saratov State Agrarian University, which is a suspension of MC-20 oil, a mixture of nanosized powders of non-ferrous metals and oleic acid (SAS) was used. The preparation of the lubricating composition was carried out in a special installation at a temperature of 140 ° C and mechanical stirring for 15 minutes. Nanodispersed powder obtained by plasma recondensation was used in a lubricating composition. The ultrasonic bath OZU-025 was used to study the effect of ultrasound on the sedimentation stability of the resulting lubricant composition. The obtained experimental results showed that sonication under various conditions worsens the sedimentation stability of the Cluster additive. Sedimentation stability was determined after 1 to 3 days. The process of precipitation of the dispersed phase of the suspension is accelerated with an increase in the processing time from 5 to 30 minutes.When preparing lubricant compositions based on nanosized particles, it was recommended to limit themselves to their mechanical stirring at a certain temperature and surfactant concentration*

Keywords: *durability, CIP, nano-sized powder, ultrasonic treatment, sedimentation stability, surfactants, additive, suspension.*

Стремительное развитие науки и техники, рост нагрузок и скоростей при эксплуатации автомобильного транспорта и сельскохозяйственных машин потребовали повышения качества используемых смазочных материалов и технологий повышение долговечности трущихся деталей в процессе эксплуатации.

В настоящее время интенсивно развивается научное направление, основанное на проведении технического сервиса агрегатов машин безразборным методом [1, 2, 3]. Данное направление основано на применение новейших достижений нанотехнологии. В частности технологий получения и использования наноразмерных порошкообразных материалов. Безразборный сервис – комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций [4].

Одним из направлений использования наноматериалов является создание смазочных композиций на основе наноразмерных порошков цветных металлов и сплавов, позволяющих улучшать трибологические свойства базовых масел [5, 6] . Однако при разработке таких композиций остается актуальным вопрос обеспечения их седиментационной устойчивости, в особенности при использовании в качестве дисперсной среды моторных масел. Ввиду того, что наночастицы обладают высокой поверхностной энергией, то в наносистеме «порошок – масло» самопроизвольно могут протекать процессы коагуляции (укрупнения), сопровождающиеся уменьшением свободной поверхностной энергии в результате частичного взаимного насыщения некомпенсированных молекулярных сил на поверхности частиц. Данный процесс в итоге может привести к объединению наночастиц в крупные конгломераты, которые могут задерживаться фильтрующими агрегатами или выпасть в осадок. Для предотвращения этих процессов необходимо введение в масло дополнительных стабилизаторов улучшающих диспергирующе-стабилизирующие свойства.

Диспергирование – тонкое измельчение твердых тел в окружающей среде, приводящее к образованию дисперсных систем. Образовавшиеся при диспергировании частицы могут агрегатировать, диссоциировать, менять свое состояние во времени.

Диспергирование осуществляется различными методами [7].

В качестве диспергирующе-стабилизирующей добавки в масле в основном используют поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Диспергирующая функция добавки в виде ПАВ проявляется во взаимодействии с нерастворимыми в масле твердыми порошкообразными частицами. Суть этого взаимодействия заключается в способности ПАВ сорбироваться на поверхности раздела двух фаз, резко снижая поверхностное натяжение на границе «поверхность масла - твёрдая поверхность» и таким образом

расщеплять, находящийся в масле порошок. Кроме того, ПАВ значительно легче проникает в зазоры между частицами агломерата и способствует их разрушению. Так же ПАВ облегчает смачивание поверхности порошка базовым маслом.

ПАВ на поверхностях раздела двух фаз сорбируется и таким образом упаковывает каждую частицу в индивидуальную оболочку, состоящую из молекул этого ПАВ.

Повысить эффективность диспергирования можно использованием ультразвука. Происходящие при воздействии ультразвука процессы могут существенно стабилизировать дисперсную систему [8].

Применение ультразвука приводит к интенсификации физико-химических процессов в жидкостях. В ультразвуковом поле возникает кавитация, акустические течения и другие эффекты, способствующие быстрому перемешиванию жидкостей и соприкасающихся с ними твердых частиц. При ультразвуковом диспергировании суспензий дисперсность продукта может увеличиваться в несколько раз по сравнению с традиционным механическим перемешиванием [9].

Механизм действия ультразвука на дисперсную фазу заключается в следующим [10]. При воздействии ультразвука на границе раздела фаз возникают зоны сжатия и разряжения, которые, в свою очередь, создают высокое давление. Создаваемое ультразвуковой волной избыточное давление накладывается на постоянное гидростатическое давление в системе и суммарно может составить несколько атмосфер. В фазе разряжения во всем объеме жидкости, в особенности у границ раздела жидкой фазы и порошка, образуются пузырьки газа (кавитационные пузырьки), которые при повторном сжатии захлопываются, создавая давление до нескольких сотен атмосфер. При этом образуется ударная волна высокой интенсивности, способствующая разрушению образованных конгломератов и крупных частиц.

Для исследования влияния (ПАВ) на стабилизационную устойчивость наноразмерного порошка в моторном масле и режима ультразвуковой обработки полученной суспензии использовали состав смазочной композиции «Кластер» разработанный на кафедре «Техническое обеспечение АПК» Саратовского ГАУ. Присадка «Кластер» представляет собой суспензию, состоящую из масла МС-20 ГОСТ 21743 - 76, смеси наноразмерных порошков цветных металлов и ПАВ [11].

Наноразмерные порошки получали методом плазменной переконденсации, основанном на испарении крупнодисперсного сырья в плазменном потоке с температурой 5000–8000 К и конденсации пара до частиц размером 0,01- 0,2 мкм. Данным способом в условиях ОП ЛАБОРАТОРИИ №33 ФГУП «ГНИИХТЭОС» из крупнодисперсного сырья были синтезированы требуемые наноразмерные порошки (НРП) на установке, представленной на рисунке 1.

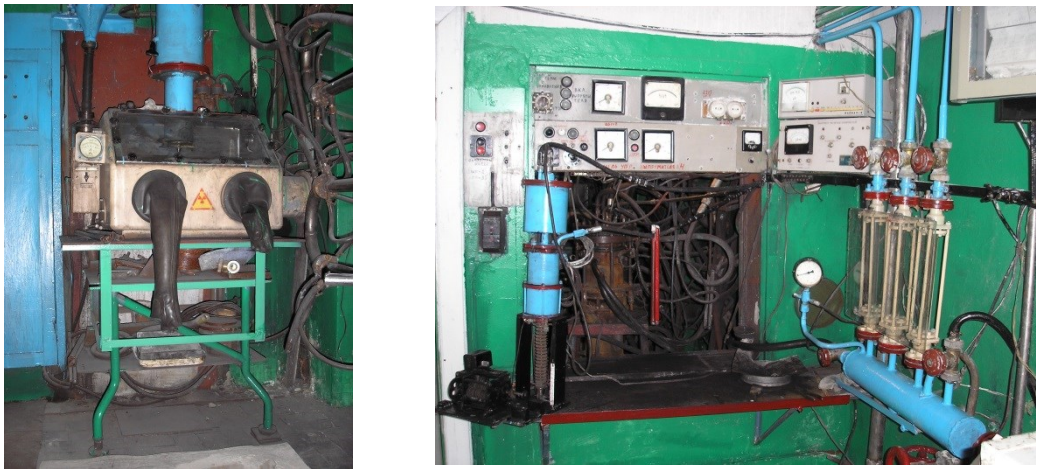


Рисунок 1 – Установка для получения наноразмерных порошков методом плазменной переконденсации

Основные характеристики некоторых НРП порошков полученных методом плазменной переконденсации представлены в таблице 1.

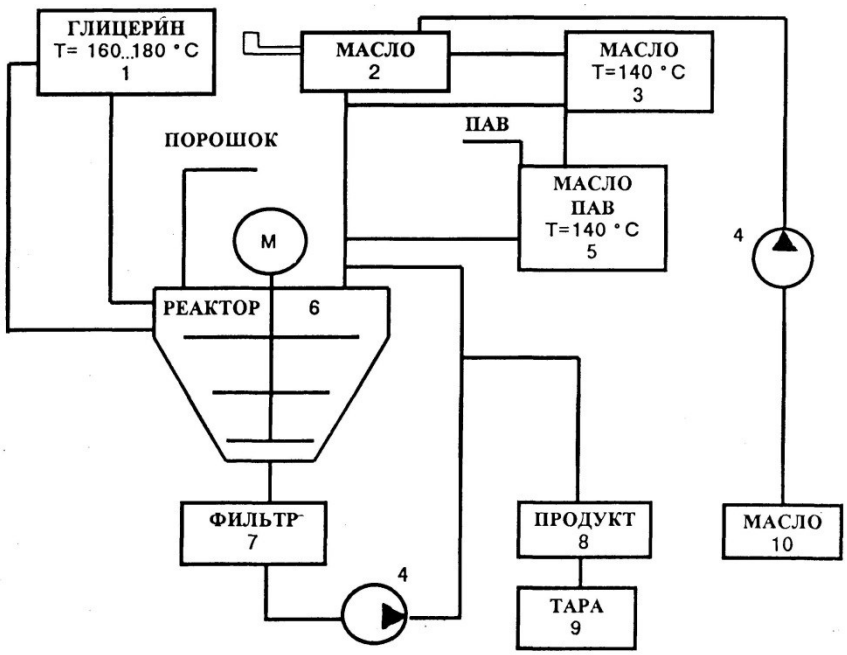
Таблица 1 – Физико-химические свойства нанодисперсных порошков полученных методом плазменной перконденсации

Материал	Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность, г/см^3	Цвет	Химическая активность
Cu	0,01-0,1	0,5-0,1	темно-коричневый	химически активен
Ni	0,01-0,1	0,4-0,6	черный	химически активен
Fe	0,01-0,1	0,2-0,6	черный	химически активен
Al	0,05-0,2	0,3-0,5	серый	химически активен
Ti	0,04-0,1	0,1-0,2	черный	химически активен
Zn	0,08-0,1	0,2-0,4	серый	химически активен
Al_2O_3	0,02-0,08	0,2-0,5	белый	стабилен
AlN	0,07-0,1	0,15-0,2	светло-серый	на воздухе разлагается
SiC	0,02-0,04	0,3-0,4	светло-серый	стабилен
Cu·Ni	0,04-0,1	0,4-0,9	темно-серый	химически активен
Cu·Sn	0,04-0,1	0,4-0,9	темно-коричневый	химически активен
MoS_2	0,05-0,15	0,4-0,8	темно-серый	стабилен
CuS_2	0,05-0,2	0,2-0,6	темно-коричневый	стабилен

Примечания:
1. Средний размер регулируется технологическими параметрами процесса.
2. Форма частиц – сферическая.
3. В таблице не приведены более сложные сплавы, а также порошки легированные различными элементами.

В качестве ПАВ применяли техническую олеиновую кислоту Б-14 ГОСТ 7580 – 91.

Для приготовления концентрированной смазочной композиции на основе нанопорошка использовали специальную установку. Ее схема и внешний вид представлены на рисунки 2, 3.



1 – емкость с глицерином; 2 – мерная емкость с маслом; 3 – емкость с маслом; 4 – насос; 5 – емкость с ПАВ; 6 – реактор; 7 – фильтр; 8 - емкость для присадки; 9 – тара; 10 – емкость для масла.

Рисунок 2 – Схема установки для приготовления присадки

Рисунок 3 – Установка для приготовления присадки

Технология приготовления смазочной композиции заключалась в следующем: из емкости 10 с помощью электронасоса 4 масло МС-20 поступало в мерную емкость 2 с ценой деления 0,5 л. Из нее масло переливали в емкость 5 и нагревали до температуры 140 °С.

Далее включали термостатированную емкость 1, заполненную глицерином, циркулирующим по рубашке реактора 6. Температуру содержимого реактора доводили до 140°С.

На аналитических весах HR – 250 AZG взвешивали необходимое количество ПАВ и добавляли ее в емкость 5, где при температуре 140 °С смесь перемешивали в течение 30 мин. На технических весах типа ВНЦ с ценой деления 5 г взвешивали необходимое количество порошкообразного наполнителя, перемешивали его в определенной пропорции с маслом и заливали в реактор 6. Далее включали перемешивающее устройство реактора и его циркуляционную систему. Содержимое реактора перемешивали в течение 15 мин при температуре 140 °С. После этого в реактор 6 из емкости 5 заливали необходимое количество смеси масла с ПАВ. Полученную многокомпонентную смесь перемешивали в течение 30 мин при температуре 140 °С. Готовую суспензию из реактора 6 в горячем виде с помощью насоса 4 перекачивали в емкость 8, где она остужалась до температуры 40 - 60 °С, после чего ее сливали в подготовленную тару.

При длительном хранении полученная суспензия постепенно расслаивалась, и порошкообразная ее часть выпадала в осадок. Для повышения седиментационной устойчивости приготовленной присадки предлагается использовать ультразвуковую обработку.

Исследование влияния ультразвуковой обработки на седиментационную устойчивость, приготовленную по вышеуказанной технологии присадки «Кластер» проводили следующим образом.

Необходимый для исследования объем присадки заливали в мерный стакан и разливали в 4 пробирки высотой 150 - 155 мм внутренним диаметром $14^{+}{-}0{,}2$ мм. Первые 3 пробирки помещали в ультразвуковую ванну ОЗУ-025 (рисунок 4). Включали ультразвуковую ванну и выдерживали

первую пробирку - 30 мин, вторую - 15 мин, третью - 5 мин. 4-ю пробирку ультразвуком не обрабатывали. После чего все 4 пробирки устанавливали в штатив Ш – 40 и помещали в термостат жидкостный ТЖ-ТС-01залитый водой, подогретой до $90^{+-}1\ ^{0}$С. Эксперимент проводили в 3 этапа. При 1-ом этапе пробирки с присадкой, обработанными и не обработанными ультразвуком, выдерживали в течение 60 мин в термостате и затем его выключали на 24 ч (рисунок 5). После чего пробирки доставали из термостата и замеряли высоту столба суспензии. Далее эксперимент продлевали до 48 ч (2-ой этап) и до 72 ч (3 – этап). Эксперимент повторяли 3 раза.

Рисунок 4 – Ультразвуковая ванна ОЗУ-025 с образцами присадки

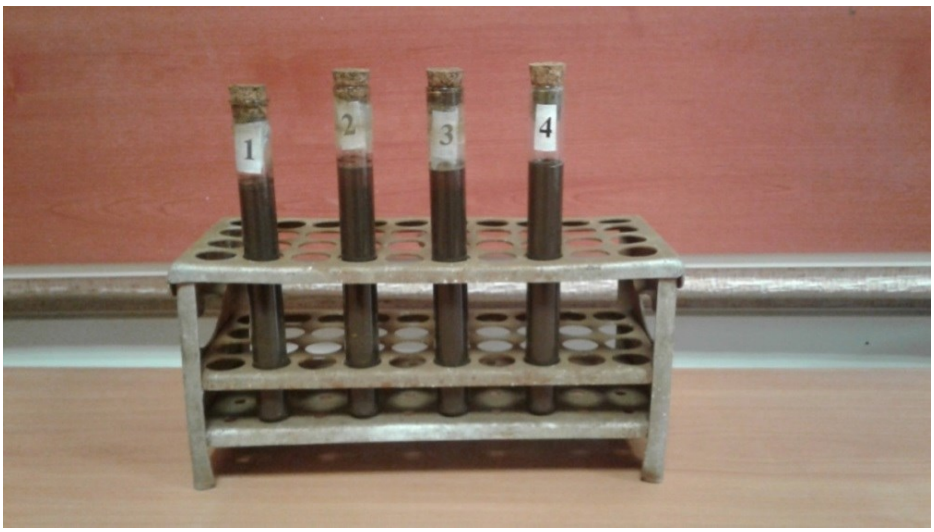


Рисунок 5 – Образцы присадки после обработки ультразвуком и выдержки в термостате

Влияние обработки присадки ультразвуком определяли по величине седиментационной устойчивости определяемой по формуле:

$X = A/B \cdot 100\%$;

где X – седиментационная устойчивость, %;

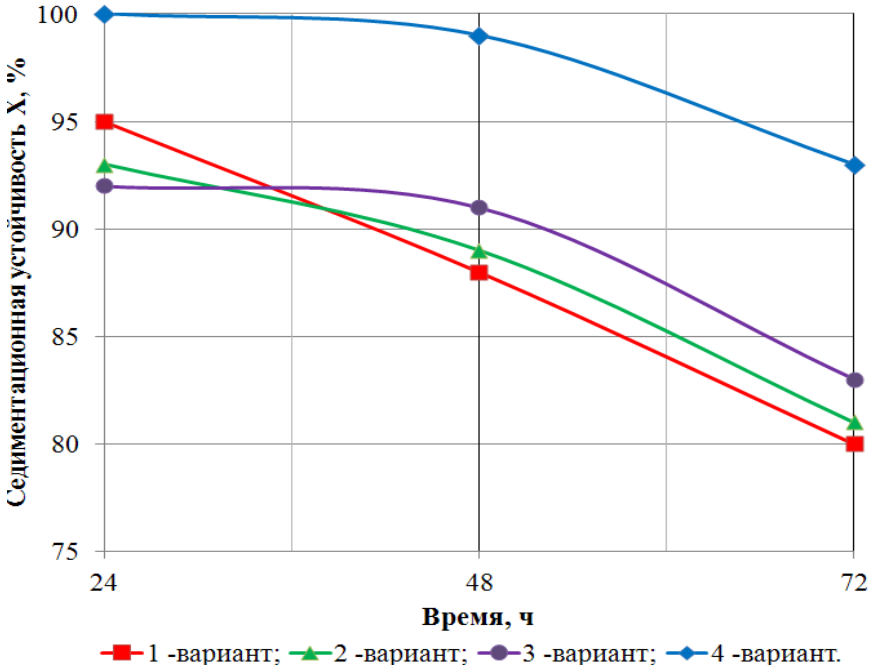
A – высота столба суспензии, мм;

B – общая высота столба, мм.

Результаты исследований представлены в таблице 2 и на рисунок 7.

Таблица 2 – Результаты испытания присадки «Кластер» на седиметационную устойчивость после обработки ультразвуком

№ пробирки	Марка масла	Продолжительность обработки ультразвуком, мин.	Седиментационная устойчивость, %		
			24 ч	48 ч	72 ч
1	МС - 20	30	92	91	83
2	МС - 20	15	93	89	81
3	МС - 20	5	95	88	80
4	МС - 20	-	100	99	93



1 вариант – 30 минут; 2 вариант – 15 минут; 3 вариант – 5 минут;
4 вариант – не обработанной ультразвуком

Рисунок 6 – Изменение седиментационной устойчивости присадки «Кластер», обработанной ультразвуком

Анализ кривых представленных на рисунке 6 показывает, что обработка ультразвуком ухудшает седиментационную устойчивость присадки «Кластер». С увеличением продолжительности обработки ускоряется процесс осаждения дисперсной фазы суспензии. При обработки ультразвуком в течение 30 минут седиментационная устойчивость присадки в интервале с 24 ч до 72 ч уменьшилась с 95 % до 80 %, а при обработки ультразвуком присадки в течение 5 минут седиментационная устойчивость изменилась с 92 % до 83 %. При первом варианте интенсивность снижения седиментационной устойчивости присадки в 1,7 выше, чем при втором. При варианте не обработки присадки «Кластер» ультразвуком (4 – вариант), седиментационная устойчивость изменилась с 100 % до 93 %. Интенсивность снижения седиментационной устойчивости присадки, не обработанной ультразвуком в 2,3 ниже, чем при 30 минутной обработки и в 1,4 ниже, чем при 5-ти минутной обработки. Кроме того, после 72 ч наблюдения за присадкой «Кластер» установлено, что после 30-ти минутной обработки ультразвуком седиментационная устойчивость ее составила 80 %, после 5-ти минутной – 83%, а не обработанная ультразвуком – 93%, что в 1,16 раза и в 1,12 раза выше, чем при первом и втором вариантах соответственно.

Полученные результаты можно объяснить, процессами, происходящими на границе разделе фаз «твердая поверхность порошка – пленка ПАВ». По-видимому, под действием ультразвуковых волн возникают кавитационные явления, разрушающие оболочку вокруг каждой наночастицы образованную предыдущей обработкой ПАВ, что и итоге приводит к повышению физико-химической активности наноразмерного порошка их агрегатированию и ускорению процессов выпадения в осадок.

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что при изготовление присадки на основе наноразмерных частиц целесообразно ограничиться их механическим перемешиванием при определенной температуре и концентрации ПАВ.

Список литературы

1. Остриков В.В., Попов С.Ю., Сафонов В.В., Балабанов В.И. Многофункциональная ремонтно-восстановительная смазочная композиция // Наука в центральной России. – 2015. – № 4 (16). – С. 49-56.

2. Сафонов В.В., Шишурин С.А., Александров В.А. Повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники за счет применения наноматериалов. // Нанотехника. – 2009. – № 20. – С. 79–80.

3. Сафонов В.В., Александров В.А., Азаров А.С., Шишурин С.А. Применение наноматериалов при техническом сервисе // Вестник МГАУ. – 2009. – № 3.(34) – С. 62–66.

4. Балабанов В.И., Болгов В.Ю. Автомобильные присадки и добавки: Монография / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов. М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. - 225 с.

5. Зимин А.Г., Попов С.Ю., Остриков В.В., Сафонов В.В. Повышение эффективности и расширение многофункциональных свойств ремонтно-восстановительного состава // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 42-45.

6. Остриков В.В., Зимин А.Г., Попов С.Ю., Сафонов В.В. Многофункциональная добавка к моторным маслам // Двигателестроение. – 2014. – № 2 (256). – С. 32-34.

7. Андрюшкин А.Ю. Диспергирование жидкостей сверхзвуковым газодинамическим методом // Конструкции из композиционных материалов. – 2011. – № 3. – С. 5-27.

8. Лаппо Н.М., Галаганова В.Н., Шишкина К.Н. Влияние ультразвука на жидкости // Сб. трудов конференции : Витебский ГТУ. – 2017. – С. 359-361.

9. Amanbaev T.R. Dynamics of a suspension in the presence of liquid filtration, disperse phase sedimentation, and precipitate formation processes // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. – Т. 50. –№ 3. – С. 303-315.

10. Базилевский А.В., Коротеев Д.А., Рожков А.Н., Скобелеева А.А. Седиментация частиц в сдвиговых потоках вязкоупругих жидкостей // Механика жидкости и газа. – 2010. – № 4. – С. 128-141.

11. Пат. 2123030 РФ, МПК^6 C10M 125/00, 10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06. Смазочная композиция [Текст] / Сафонов В.В., Добринский Э.К., Буйлов В.Н., Семин А.Г., Митюшкин А.А., Венскайтис В.В.; заявитель и патентообладатель – № 97116529/04; заявл. 07.10.1997; опубл. 10.12.1998, Бюл. № 34. – 5 с.

References

1. Ostrikov V.V., Popov S.YU., Safonov V.V., Balabanov V.I. Mnogofunkcional'naya remontno-vosstanovitel'naya smazochnaya kompoziciya // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. –№ 4 (16). – S. 49-56.

2. Safonov V.V., SHishurin S.A., Aleksandrov V.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki za schet primeneniya nanomaterialov. // Nanotekhnika. – 2009. – № 20. – S. 79–80.

3. Safonov V.V., Aleksandrov V.A., Azarov A.S., SHishurin S.A. Primenenie nanomaterialov pri tekhnicheskom servise // Vestnik MGAU. – 2009. – № 3.(34) – S. 62–66.

4. Balabanov V.I., Bolgov V.YU. Avtomobil'nye prisadki i dobavki: Monografiya / V.I. Balabanov, V.YU. Bolgov. M.: Izd-vo RGAU – MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2011. - 225 s.

5. Zimin A.G., Popov S.YU., Ostrikov V.V., Safonov V.V. Povyshenie effektivnosti i rasshirenie mnogofunkcional'nyh svojstv remontno-vosstanovitel'nogo sostava // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – № 5. – S. 42-45.

6. Ostrikov V.V., Zimin A.G., Popov S.YU., Safonov V.V. Mnogofunkcional'naya dobavka k motornym maslam // Dvigatelestroenie. – 2014. – № 2 (256). – S. 32-34.

7. Andryushkin A.YU. Dispergirovanie zhidkostej sverhzvukovym gazodinamicheskim metodom // Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. – 2011. – № 3. – S. 5-27.

8. Lappo N.M., Galaganova V.N., SHishkina K.N. Vliyanie ul'trazvuka na zhidkosti // Sb. trudov konferencii.: Vitebskij GTU. – 2017. – S. 359-361.

9. Amanbaev T.R. Dynamics of a suspension in the presence of liquid filtration, disperse phase sedimentation, and precipitate formation processes // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2016. – T. 50. – № 3. – S. 303-315.

10. Bazilevskij A.V., Koroteev D.A., Rozhkov A.N., Skobeleeva A.A. Sedimentaciya chastic v sdvigovyh potokah vyazkouprugih zhidkostej // Mekhanika zhidkosti i gaza. – 2010. – № 4. – S. 128-141.

11. Pat. 2123030 RF, MPK6 C10M 125/00, 10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06. Smazochnaya kompoziciya [Tekst] / Safonov V.V., Dobrinskij E.K., Bujlov V.N., Semin A.G., Mityushkin A.A., Venskajtis V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' – № 97116529/04; zayavl. 07.10.1997; opubl. 10.12.1998, Byul. № 34. – 5 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Сафонов Валентин Владимирович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов, e-mail: nirm@sgau.ru.

Уткин Виктор Владимирович – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Сафонов Константин Валентинович – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Мухин Виктор Алексеевич – доктор технических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов.

Добринский Эдуард Константинович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории № 33 Государственного научного центра РФ Акционерного общества «Государственный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и элементоорганических соединений», г. Саратов.

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, 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.

Author credentials

Affiliations

Safonov Valentin Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov, e-mail: nirm@sgau.ru.

Utkin Victor Vladimirovich – undergraduate of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov.

Safonov Konstantin Valentinovich – Senior Lecturer of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov.

Mukhin Viktor Alekseevich – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov.

Dobrinsky Eduard Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, leading researcher at State Scientific Research Institute of Chemistry and Technology of Organoelement Compounds, Russia, Saratov.

Ostrikov Valery Vasilievich – Doctor of Technical Sciences, 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.

Поступила в редакцию (Received): 30.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.11.2019

УДК 665.11, 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-76-83

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПОЛУЧЕННОГО НА ВИХРЕВОМ РЕАКТОРЕ, ПО СОСТАВУ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

[1]Романцова Светлана Валерьевна
[2]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Корнев Алексей Юрьевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Цетановое число является одной из важных эксплуатационных характеристик дизельного топлива. Оно характеризует способность топлива к самовоспламенению в процессе работы дизельного двигателя. Если цетановое число меньше 40, наблюдается детонация, которая увеличивает износ двигателя. Действующие в настоящее время стандарты требуют для дизельного топлива цетановое число не менее 51. Обоснована необходимость определения цетанового числа биодизельного топлива расчетным путем. Создана упрощенная математическая модель для быстрого определения цетанового числа конечного продукта по составу метиловых эфиров жирных кислот. Выявлена необходимость интенсивного перемешивания компонентов с целью снижения времени реакции переэтерификации. Показаны характерные недостатки существующих способов синтеза биодизельного топлива. Разработана схема опытно-промышленной установки по получению биодизельного топлива на основе инновационного вихревого реактора. Впервые выявлено изменение жирнокислотного состава растительных масел при их синтезе под действием вихревого эффекта. Доказан несостоятельным постулат о совпадении жирнокислотного состава исходного масла и конечного продукта в случае использования вихревой трубы. Предложен способ нахождения цетанового числа биодизельного топлива по составу эфиров жирных кислот. Подтверждена гипотеза о распределении влияния отдельных компонентов биодизельного топлива на цетановое число в соответствии с законом аддитивности. Установлено влияние изменения длины цепи молекулы и числа двойных связей в углеродном радикале на величину цетанового числа. Теория построена на полученных и проверяемых данных эксперимента и удовлетворительно согласуется с опубликованными результатами по рассматриваемой тематике.*

Ключевые слова: *биодизель, вихревой реактор, двойная связь, жирнокислотный состав, математическая модель, прогнозирование, цетановое число, углеродный радикал.*

FORECASTING OF THE CETAN NUMBER OF BIO-DIESEL FUEL OBTAINED BY THE VORTEX REACTOR, BY THE COMPOSITION OF METHYL ETHERS OF FATTY ACIDS

[1]Romantsova Svetlana
[2]Nagornov Stanislav
[2]Kornev Alexey
[1]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The necessity of determining the cetane number of biodiesel fuel by calculation has been substantiated. A simplified mathematical model has been created to quickly determine the cetane number of the final product by the composition of methyl esters of fatty acids. The need for intensive mixing of the components in order to reduce the reaction time transesterification. The characteristic disadvantages of existing methods for the synthesis of biodiesel fuel are shown. The scheme of a pilot plant for producing biodiesel based on an innovative vortex reactor has been developed. For the first time, a change in the fatty acid composition of vegetable oils was revealed during their synthesis under the influence of a vortex effect. The postulate on the coincidence of the fatty acid composition of the starting oil and the final product in the case of the use of a vortex tube is proved to be untenable. A method for finding the*

cetane number of biodiesel by the composition of fatty acid esters is proposed. The hypothesis about the distribution of the influence of individual components of biodiesel on the cetane number in accordance with the law of additivity is confirmed. The effect of changing the chain length of the molecule and the number of double bonds in the carbon radical on the value of the cetane number is established. The theory is based on the obtained and verified experimental data and is in satisfactory agreement with the published results on the subject under discussion.

Keywords: *biodiesel, vortex reactor, double bond, fatty acid composition, mathematical model, forecasting, cetane number, carbon radical.*

Введение. Цетановое число является одной из важных эксплуатационных характеристик дизельного топлива. Оно характеризует способность топлива к самовоспламенению в процессе работы дизельного двигателя, т.е. время между впрыском топлива в двигатель и моментом начала горения топлива. С увеличением цетанового числа это время уменьшается, что способствует более спокойному горению топлива в двигателе. Если цетановое число меньше 40, наблюдается детонация, которая увеличивает износ двигателя. Действующие в настоящее время стандарты требуют для дизельного топлива цетановое число не менее 51.

Численное значение этой величины непосредственно зависит от строения органических соединений, входящих в состав топлива. Нефтяные топлива представляют собой смесь углеводородов, различающихся по строению углеродного скелета. Самые низкие цетановые числа имеют карбоциклические углеводороды ароматического строения, а самые высокие – предельные углеводороды (алканы) с неразветвлённой углеродной цепью. С увеличением длины цепи цетановое число увеличивается, с увеличением разветвлённости углеродного скелета – уменьшается. Кратные связи также уменьшают цетановое число. Следовательно, высокими цетановыми числами должны обладать топлива с высоким содержанием алканов, но такое топливо будет обладать неудовлетворительными низкотемпературными характеристиками из-за сравнительно высокой температуры плавления алканов.

Цетановое число дизельных топлив, производимых российскими нефтеперерабатывающими заводами, в настоящее время составляет 48 – 50 [1]. Его увеличивают, добавляя специальные цетаноповышающие присадки. Часто следствием этого является ухудшение смазывающих характеристик дизельного топлива, что требует введения других присадок. К снижению цетанового числа и ухудшению смазывающих свойств современных топлив приводят процессы глубокой очистки, удаляющие многие нативные гетероатомные соединения и улучшающие экологические свойства топлив. Поэтому создание современного дизельного топлива, соответствующего строгим экологическим нормам и обладающего удовлетворительными эксплуатационными характеристиками невозможно без использования специальных присадок или добавок.

Одной из таких добавок может быть биодизельное топливо – метиловые эфиры высших жирных кислот (МЭЖК). Молекулы биодизельное топливо не содержат ароматических и серусодержащих соединений, поэтому после его сгорания в выхлопных газах отсутствуют оксиды серы (приводящие к образованию кислотных осадков) и полициклические ароматические углеводороды (проявляющие канцерогенные свойства) [2 – 9]. В отличие от углеводородов нефтяных топлив, молекулы МЭЖК содержат атомы кислорода, которые увеличивают полноту сгорания топлива и снижают содержание сажи и несгоревших углеводородов в выхлопных газах. Биодизельное топливо имеет более высокую биоразлагаемость и температуру вспышки, что делает более безопасным его хранение и перевозку. Ещё одно преимущество биодизельного топлива состоит в том, что сырьём для его синтеза является возобновляемая растительная биомасса. МЭЖК получают путем переэтерификации триацилглицеринов растительного масла низкомолекулярным метиловым спиртом. Биодизельное топливо имеет высокое цетановое число (до 58) и его добавление улучшает смазывающие свойства глубокоочищенных нефтяных топлив [10 – 12].

В настоящее время определение цетанового числа происходит с помощью сложного и дорогостоящего оборудования в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 32508-2013 «Топлива дизельные. Определение цетанового числа». Поэтому поиск альтернативных путей определения цетанового числа является актуальным.

Целью данного исследования является создание простой математической модели определения цетанового числа конечного продукта по составу метиловых эфиров жирных кислот.

Экспериментальная часть. Синтез биодизельного топлива проводили по реакции переэтерификации. В качестве катализатора использован гидроксид калия, сырьём для синтеза являлось рапсовое масло, выращенное на территории Пензенской области. Жирнокислотный состав биодизельного топлива определяли на хроматографе Кристаллюкс-4000М по ГОСТ 30418-96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава», для обработки результатов хроматографического анализа использовалось программное обеспечение «Хроматэк-Аналитик». Расчет производился при помощи программного продукта Excel (Microsoft).

Результаты и их обсуждение. В настоящее время существует несколько способов аппаратурного оформления синтеза биодизельного топлива. Как правило, используется гомогенный щелочной катализ и аппарат с мешалкой. Однако при этом синтез проходит в течение длительного времени (несколько часов). Растительное масло и спирт не обладают взаимной растворимостью, реакция происходит на границе раздела двух жидких фаз. Для интенсификации реакции переэтерификации необходимо обеспечить как можно более интенсивное перемешивание компонентов, для чего можно использовать роторные или кавитационные аппараты. Однако эти аппараты довольно сложны и имеют высокую стоимость.

Как показали наши исследования, обеспечить интенсивное перемешивание может вихревой реактор, действие которого основано на использовании эффекта Ранка-Хилша. Такой реактор компактен, имеет очень простую конструкцию, исключающую трущиеся детали и систему охлаждения, прост в обслуживании, имеет малую энергоёмкость. На рисунке 1 представлена принципиальная схема установки для синтеза биодизельного топлива с вихревым реактором.

Движение периферийного и приосевого потоков в аппарате описывается законами движения потенциального вихря и квазитвёрдого тела соответственно [13-14]. В аппарате происходят турбулентные пульсации, благодаря которым происходит перенос энергии от одного потока к другому. Вероятно, в результате этого происходит не только интенсификация реакции переэтерификации, но и активация молекул перерабатываемого растительного масла.

Проведённые экспериментальные исследования позволили установить, что после прохождения через вихревую трубу растительного масла происходит заметное изменение его жирнокислотного состава (таблица 1).

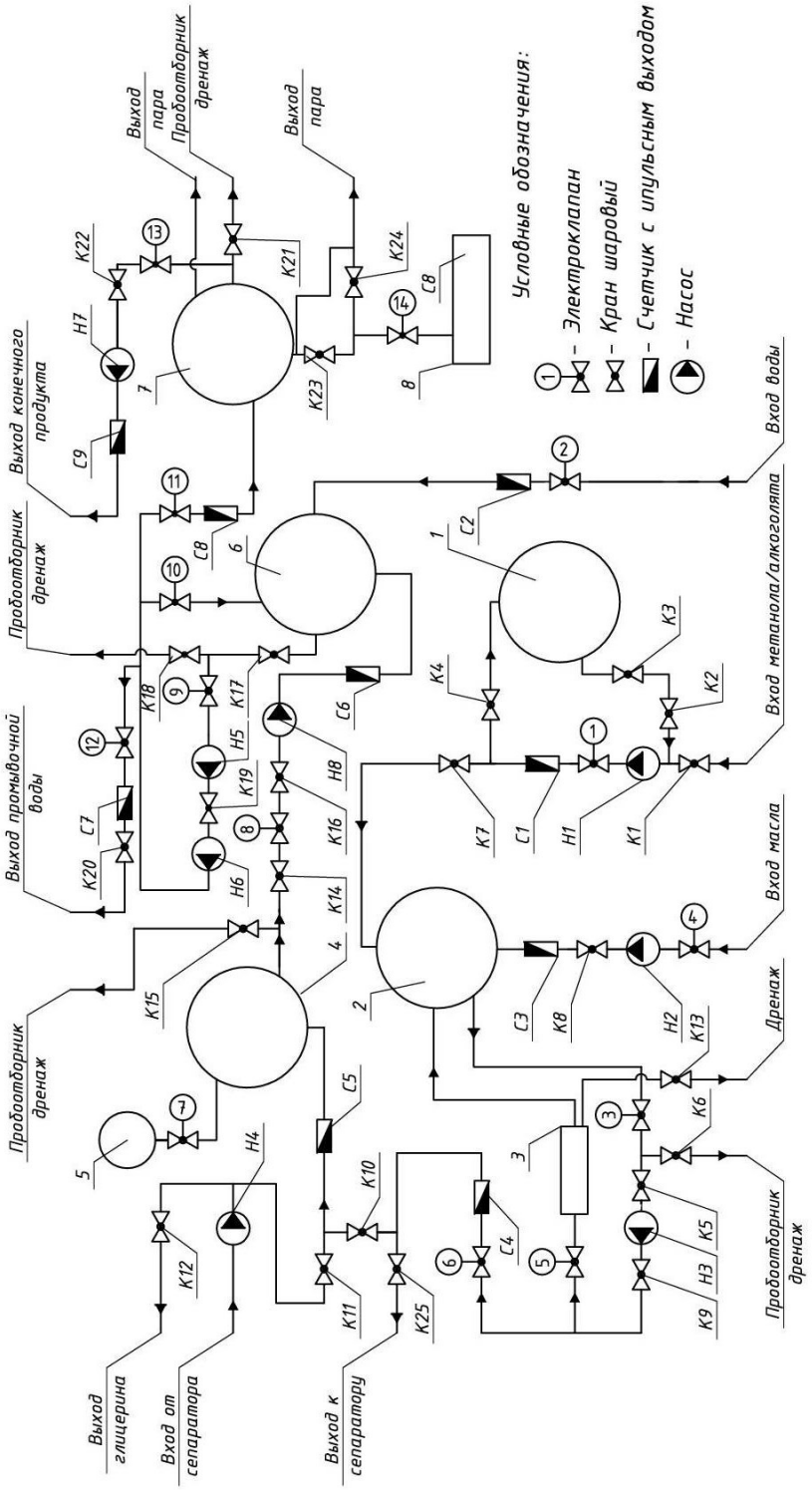
Таблица 1 – Изменение жирнокислотного состава растительного масла и биодизельного топлива

Содержание кислот в исходном масле	Содержание, %	Содержание кислот в биодизельном топливе	Содержание, %	Изменение, %
Миристиновая	0,65	-	0	-0,65
Пальмитиновая	8,88	Пальмитиновая	0,68	-8,2
Стеариновая	4,33	Стеариновая	8,37	+4,04
Олеиновая	47,04	Олеиновая	56,67	+9,63
Линолевая	1,55	Линолевая	2,25	+0,7
Бегеновая	12,37	Бегеновая	12,77	+0,4
Эруковая	5,8	Эруковая	3,58	-2,22
Не идентифицировано	19,38	Не идентифицировано	15,68	-3,7
Итого	100		100	

Следовательно, широко принятое в литературе допущение, что конечный состав кислот биодизельного топлива практически совпадает с составом кислот в исходном масле в нашем случае не применимо.

Цетановое число биодизельного топлива должно отличаться от цетанового числа растительного масла, т.к. в их состав входят сложные эфиры жирных кислот различного состава. В растительном масле это эфиры трёхатомного спирта глицерина, который связывает три остатка различных или одинаковых кислот, образуя молекулу большой молекулярной массы (около 900 г/моль). Молекула МЭЖК содержит только один остаток кислоты и имеет меньшую молекулярную массу (около 300 г/моль). По данным [15] различаются цетановые числа даже метиловых и этиловых эфиров одной и той же кислоты. Так, для метилового и этилового эфира стеариновой кислоты эти величины составляют 86,9 и 76,8, для пальмитиновой кислоты 74,5 и 85,9 соответственно.

В нашем случае ещё и жирнокислотный состав масла не совпадает с жирнокислотным составом синтезированного топлива.



1 – Емкость для спирта/алкоголята; 2 – Емкость предварительного смешивания; 3 – Вихревой биореактор; 4 – Емкость нейтрализации; 5 – Емкость ортофосфорной кислоты; 6 – Емкость нейтрализации; 7 – Емкость выпаривания; 8 – Компрессор; Н1 – насос спирт/алкоголят; Н2 – насос масла исходного; Н3 – насос биореактора; Н4 – насос откачки глицерина/закачки биодизеля после отстаивания; Н5 – насос перемешивающий/выкачки промывочной воды; Н6, Н8 – перекачивающие насосы; Н7 – насос выкачки готового продукта; 1-14 – электроклапаны; С1-С9 – счетчики с импульсным выходом; К1-К25 – краны шаровые.

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

В работе предлагается способ определения цетанового числа биодизельного топлива по составу метиловых эфиров жирных кислот (определённый методом хроматографии), с допущением, что распределение влияния каждого компонента биодизеля на цетановое число подчиняется аддитивному закону. На основании закона аддитивности значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части.

Математическая модель на основе закона аддитивности будет выглядеть следующим образом:

Обозначим количество каждой кислоты в масле или топливе за К.

K_1– содержание 1-ой кислоты, %,

K_2– содержание 2-ой кислоты, %,

…

$К_i$– содержание i-ой кислоты, %,

….

Кn– содержание n-ой кислоты, %,

N – количество кислот.

Цi – цетановое число i-го компонента.

Тогда цетановое число всего объема можно рассчитать по следующей формуле:

$$Ц_{\sum=} \sum_1^n К_i \times Ц_i \ . \quad (1)$$

Цетановое число каждого отдельного компонента смеси можно получить экспериментально, значения для самых распространённых метиловых эфиров известны [15]. Но для многих МЭЖК экспериментальные значения не получены.

Существует несколько расчётных формул для определения цетанового числа. Так, авторы работы [16] предлагают следующую формулу:

$$Ц = -7{,}8 + 0{,}302\ M - 20\ N, \quad (2)$$

где M – молярная масса МЭЖК, N – число двойных связей в радикале жирной кислоты МЭЖК.

В работе [17] предлагается формула для расчёта цетанового числа биодизельного топлива, но и её можно использовать для расчёта соответствующей величины для отдельных МЭЖК:

$$ЦЧ = 61{,}1 + 0{,}088X_1 + 0{,}133X_2 + 0{,}152X_3 - 0{,}101X_4 - 0{,}039\ X_5 - 0{,}243X_6 - 0{,}395X_7, \quad (3)$$

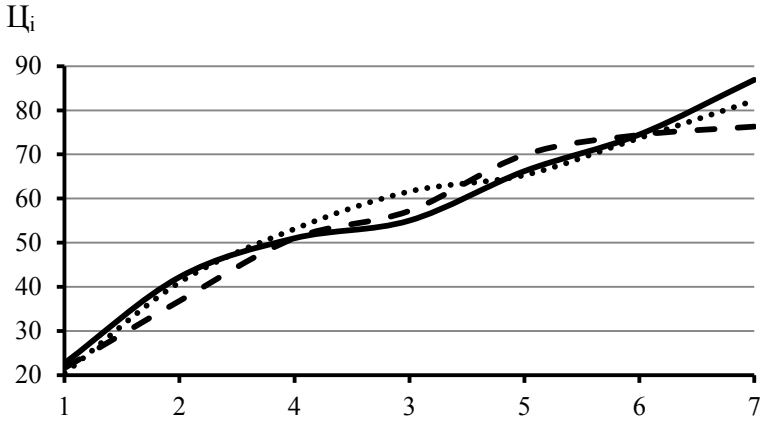
где X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7 – процентное содержание метиловых эфиров соответственно миристиновой, пальмитиновой, стеариновой, пальмитолеиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот.

В таблице 2 представлены цетановые числа МЭЖК, определённые экспериментально [15] и рассчитанные по формулам (2) и (3).

Таблица 2 – Экспериментальные и расчётные цетановые числа МЭЖК

Метиловый эфир кислоты	Значение цетанового числа, определённое		
	экспериментально	по формуле (2)	по формуле (3)
линоленовой	22,7	20,4	21,6
линолевой	42,2	41,0	36,8
пальмитолеиновой	51,0	53,1	51,0
олеиновой	55,0	61,6	57,2
миристиновой	66,2	65,3	69,9
пальмитиновой	74,5	73,7	74,4
стеариновой	86,2	82,2	76,3

Видно, что обе формулы адекватно учитывают закономерности изменения цетанового числа органического соединения от его строения. Так, с ростом длины цепи молекулы увеличивается и цетановое число, а с ростом числа двойных связей в углеродном радикале цетановое число уменьшается. Ошибка определения цетанового числа не превышает 12 % для обеих формул. Расчёты по обеим формулам в некоторых случаях дают значение больше расчётного, в некоторых – меньше, что хорошо видно на рисунке 2.



Метиловые эфиры жирных кислот: 1– линоленовой, 2 – линолевой, 3 – пальмитолеиновой, 4 – олеиновой, 5 – миристиновой, 6 – пальмитиновой, 7 – стеариновой.

Рисунок 2 – Значения цетанового числа, определённые: экспериментально (сплошная линия), по формуле (2) (пунктирная линия), по формуле (3) (штриховая линия).

Более предпочтительной является всё же формула (2), так как она является более универсальной. Зная молекулярную массу и число двойных связей, можно рассчитать цетановое число для любой молекулы МЭЖК.

Цетановое число биодизельного топлива на основе рапсового масла, по формулам (1) и (2) составит 58,6, что хорошо совпадает с литературными данными – от 51 до 58.

Заключение. Для бесперебойной работы автотракторной техники необходимо знать характеристику воспламеняемости смесевого моторного топлива для дизельных двигателей, оцениваемую с помощью цетанового числа. Наименее изучена проблема нахождения цетанового числа для биодизельного топлива как одного из основных компонентов смесевого топлива. В настоящее время практически отсутствуют достаточно строгие теории (математические и физические модели), объясняющие экспериментально установленный факт существенного изменения жирнокислотного состава растительного масла под воздействием вихревого эффекта. В то же время наши эксперименты и немногочисленные литературные данные свидетельствуют о непосредственном влиянии на величину цетанового числа изменения длины цепи молекул и количества двойных связей в углеродном радикале. Слабость существующих модельных представлений привела к тому, что основным способом выявления реальной физической картины рассматриваемого процесса и базой развития теории остается пока эксперимент. Поэтому предложенная математическая модель прогнозирования цетанового числа биодизельного топлива, позволяющая применять ее как при оценке качества конечного продукта, так и при расчетах оптимизации технологического процесса, может использоваться для решения конкретных технологических задач в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Митусова Т.Н. Современное состояние производства присадок к дизельным топливам. Требования к качеству // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний, 2009. – № 9-10. – С. 10-16.

2. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Дворецкий С.И., Макушин А.А. Биотопливо для дизелей // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 10. – С. 34-36.

3. Нагорнов С.А., Марков В.А., Девянин С.Н. Применение смесевых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 6. – С. 26-33.

4. Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. – 2012. – № 2(45). – С. 65-80.

5. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Дворецкий С.И. Исследование кинетики процесса метанолиза при переработке растительного сырья в биотопливо. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15. № 3. – С. 572-580.

6. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Ермаков А.А. Моделирование гидродинамики в реакторе с вихревым слоем ферромагнитных частиц при синтезе биотоплива. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. – № 10-12(31). – С. 359-368.

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

8. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В. Сбалансированный состав экологически чистого топлива из растительного сырья как одно из условий механизации в садоводстве. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 63-55.

9. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Быковская Л.И. Оптимизация состава многокомпонентных биотоплив для дизелей сельскохозяйственных машин. // Наука в центральной России. – 2013. – № 3. – С. 36-53.

10. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива // Инновационная наука, 2016. – № 5. – С. 72-74

11. Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Варнакова Е.А. Результаты исследований низкотемпературных свойств и цетанового числа биодизельного топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. – № 2 (34). – С. 168-173.

12. Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Товстыка В.С., Черемисинов П.Н. Определение эксплуатационных показателей трактора "Беларус-922" при работе на смесевом топливе // Вестник Мордовского университета, 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 445-458.

13. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект, Т. 1 : Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. – М.: Научтехлитиздат, 2013. – 342 с.

14. Хоробрых М. А., Клементьев В. А. Вихревой эффект Ранка-Хилша. Вихревая труба // Молодой ученый, 2012. – №6. – С. 54-55.

15. Knothe, G. Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters // Fuel Processing Technology, 2005. – № 86. – P. 1059-1070.

16. Сергеева Я.Э., Мостова Е.Б., Горин К.В., Комова А.В., Конова И.А., Пожидаев В.М., Готовцев П.М., Василов Р.Г., Синеокий С.П.. Расчет характеристик биодизельного топлива на основе жирнокислотного состава липидов некоторых биотехнологически значимых микроорганизмов // Биотехнология, 2017. – Т. 33. – № 1. – С. 53-61

17. Семёнов В.Г., Пясецкий А.А. Оценка влияния жирнокислотного состава биодизельного топлива на его характеристики // Масла и жиры, 2013. – № 9/10. – С. 38-39.

References

1. Mitusova T.N. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva prisadok k dizel'nym toplivam. Trebovaniya k kachestvu // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy, 2009. – № 9-10. – S. 10-16.

2. Nagornov S.A., Romancova S.V., Dvoreckij S.I., Makushin A.A. Biotoplivo dlya dizelej // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2006. – № 10. – S. 34-36.

3. Nagornov S.A., Markov V.A., Devyanin S.N. Primenenie smesevyh biotopliv na osnove metilovyh efirov rastitel'nyh masel v transportnyh dizelyah // Bezopasnost' v tekhnosfere. – 2011. – № 6. – S. 26-33.

4. Markov V.A., Nagornov S.A., Devyanin S.N. Sostav i teplota sgoraniya biotopliv, poluchaemyh iz rastitel'nyh masel. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Estestvennye nauki. – 2012. – № 2(45). – S. 65-80.

5. Nagornov S.A., Romancova S.V., Dvoreckij S.I. Issledovanie kinetiki processa metanoliza pri pererabotke rastitel'nogo syr'ya v biotoplivo. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2009. – T. 15. № 3. – S. 572-580.

6. Nagornov S.A., Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Ermakov A.A. Modelirovanie gidrodinamiki v reaktore s vihrevym sloem ferromagnitnyh chastic pri sinteze biotopliva. // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2010. – № 10-12(31). – S. 359-368.

7. Nagornov S.A., Romancova S.V., Ryazanceva I.A., Bodyagina S.V. Intensifikaciya sinteza biodizel'nogo topliva vrashchayushchimsya elektromagnitnym polem // Mekhanizaciya i elektrifikaciya

sel'skogo hozyajstva. – 2010. – № 5. – S. 8-10.

8. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Romancova S.V. Sbalansirovannyj sostav ekologicheski chistogo topliva iz rastitel'nogo syr'ya kak odno iz uslovij mekhanizacii v sadovodstve. // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 63-55.

9. Markov V.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A., Bykovskaya L.I. Optimizaciya sostava mnogokomponentnyh biotopliv dlya dizelej sel'skohozyajstvennyh mashin. // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 3. – S. 36-53.

10. Gafurov N.M., Khismatullin R.F. Preimushchestva biodizel'nogo topliva // Innovatsionnaya nauka, 2016. – № 5. – S. 72-74

11. Varnakov D.V., Varnakov V.V., Varnakova Ye.A. Rezul'taty issledovaniy nizkotemperaturnykh svoystv i tsetanovogo chisla biodizel'nogo topliva // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 2016. – № 2 (34). – S. 168-173.

12. Plotnikov S.A., Buzikov SH.V., Tovstyka V.S., Cheremisinov P.N. Opredeleniye ekspluatatsionnykh pokazateley traktora "Belarus-922" pri rabote na smesevom toplive // Vestnik Mordovskogo universiteta, 2018. – T. 28. – № 3. – S. 445-458.

13. Piralishvili SH.A. Vikhrevoy effekt, T. 1 : Fizicheskoye yavleniye, eksperiment, teoreticheskoye modelirovaniye. – M.: Nauchtekhlitizdat, 2013. – 342 s.

14. Khorobrykh M. A., Klement'yev V.A. Vikhrevoy effekt Ranka-Khilsha. Vikhrevaya truba // Molodoy uchenyy, 2012. – №6. – S. 54-55.

15. Knothe, G. Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters // Fuel Processing Technology, 2005. – № 86. – P. 1059-1070.

16. Sergeyeva YA.E., Mostova Ye.B., Gorin K.V., Komova A.V., Konova I.A., Pozhidayev V.M., Gotovtsev P.M., Vasilov R.G., Sineokiy S.P.. Raschet kharakteristik biodizel'nogo topliva na osnove zhirnokislotnogo sostava lipidov nekotorykh biotekhnologicheski znachimykh mikroorganizmov // Biotekhnologiya, 2017. – T. 33. – № 1. – S. 53-61

17. Semonov V.G., Pyasetskiy A.A. Otsenka vliyaniya zhirnokislotnogo sostava biodizel'nogo topliva na yego kharakteristiki // Masla i zhiry, 2013. – № 9/10. – S. 38-39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

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.

Author credentials

Affiliations

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

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.

Поступила в редакцию (Received): 19.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2019

УДК 628
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-84-91

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО НЕФТЕСКЛАДА

[1]Левин Максим Юрьевич
[1]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Левина Екатерина Юрьевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Реферат. *Качество моторного топлива, производимого в нашей стране, за последние годы существенно улучшилось. Автомобильные бензины и дизельные топлива с нефтеперерабатывающих заводов отпускаются с существенным запасом качества. Наряду с этим, число отказов сельскохозяйственной техники из года в год растет по причине использования сельскими товаропроизводителями недоброкачественных автомобильных бензинов и дизельных топлив. Этот своеобразный парадокс является следствием следующих основных совокупных причин: несовершенная технология хранения моторного топлива, отсутствие должного контроля его качества и снижение технического уровня оборудования сельских нефтескладов. Потери бензина при заполнении резервуара могут достигать от 1 до 4 литров на 1 м^3 подаваемого топлива. В данной работе проводится совершенствование технологии хранения светлых нефтепродуктов с использованием интеллектуального нефтесклада. Для этого разработан метод перехода от классической системы автоматизации к виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе. Базируясь на искусственном интеллекте и виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе разработана методика управления нефтескладом, которая способна также решать многофакторные задачи. Дообучение исходной нейросетевой модели на новых данных приведет к уменьшению погрешности вычислений с течением времени. Создан алгоритм работы интеллектуальной системы по предупреждению аварии на резервуаре и сохранению качества хранимого топлива, который разделен на 4 блока: стартовая загрузка начальных данных нефтехозяйства; операция read/write параметров объекта; инициализация вероятностной характеристики возникновения аварии на резервуаре; управление процессом. Показано, что точность виртуальных датчиков на примере расчёта потерь топлива от испарения из резервуара объемом 50м^3 достигает 95-98%. Проведя цифровую трансформацию в «Умный нефтесклад» достигается безошибочное управление сохранением качества топлива с вероятностью до 98%.*

Ключевые слова: *технология хранения, потери топлива, умный нефтесклад, интеллектуальные системы.*

IMPROVEMENT OF STORAGE TECHNOLOGIES OF LIGHT OIL PRODUCTS USING INTELLECTUAL OIL WAREHOUSE

[1]Levin Maxim
[1]Nagornov Stanislav
[2]Levina Ekaterina
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Bauman Moscow State Technical University"

Abstract. *The quality of motor fuel produced in our country has improved significantly in recent years. Motor gasoline and diesel fuel from refineries are released with a significant margin of quality. At the same time, the number of failures of agricultural machinery is growing from year to year due to the*

use of poor-quality agricultural producers of gasoline and diesel fuels. This peculiar paradox is a consequence of the following main aggregate reasons: imperfect technology of storage of motor fuel, lack of proper control of its quality and decrease in technical level of the equipment of rural oil deposits. Loss of gasoline when filling the tank can reach from 1 to 4 liters per 1 m^3 of fuel supplied. In this work, we improve the technology for storing light petroleum products using an intelligent oil warehouse. For this, a method has been developed for the transition from a classical automation system to a virtual-cloud automation system for a horizontal cylindrical tank in an agricultural oil depot. Based on artificial intelligence and a virtual-cloud automation system for a horizontal cylindrical tank at an agricultural oil depot, an oil depot management technique has been developed that can also solve multifactor problems. Additional training of the initial neural network model on new data will lead to a decrease in the calculation error over time. An algorithm was developed for the program to prevent an accident at the tank and preserve the quality of stored fuel, which is divided into 4 stages: initial initialization of the initial data of the oil industry; reading and writing tank parameters; checking for the probability of an emergency; control action. It is shown that the accuracy of virtual sensors using the example of calculating fuel losses from evaporation from a 50m^3 tank reaches 95-98%. By digitally transforming it into a Smart Oil Storage Facility, error-free management of fuel quality preservation is achieved with a probability of

Keywords: *storage technology, fuel loss, smart oil depot, intelligent systems.*

Введение. Качество моторного топлива, производимого в нашей стране, за последние годы существенно улучшилось. Автомобильные бензины и дизельные топлива с нефтеперерабатывающих заводов отпускаются с существенным запасом качества.

Наряду с этим, число отказов мобильной сельскохозяйственной энергетики из года в год растет по причине использования сельскими товаропроизводителями недоброкачественных автомобильных бензинов и дизельных топлив. Этот своеобразный парадокс является следствием следующих основных совокупных причин: несовершенная технология хранения моторного топлива, отсутствие должного контроля его качества и снижение технического уровня оборудования сельских нефтескладов [1, 2].

Поэтому разработка научно обоснованных путей совершенствования технологии хранения светлых нефтепродуктов моторного топлива и предотвращения загрязнения окружающей среды при его хранении является весьма своевременной и актуальной проблемой, на решение которой сконцентрировано внимание ведущих отечественных и зарубежных ученых [3, 4]. В этой связи открывается перспектива применения интеллектуальных систем, которые позволят обеспечить сельскохозяйственных товаропроизводителей предиктивным анализом по предупреждению аварий резервуарного парка и выбросов нефтепродуктов, управлением рисками работы нефтесклада в целом, эффективной работой средств сохранения качества моторного топлива, тем самым полностью предотвращая снижение его качества. Умный нефтесклад включает в себя программное обеспечение и математические модели, которые описывают процесс хранения топлива и идентифицируют различное состояние системы, позволяя автоматике безошибочно предпринять действия, направленные на сохранение качества топлива. В статье приводится методика перехода от классической системы автоматизации к виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе, которая позволяет отойти от классической схемы сбора данных с резервуара от датчиков и перейти к виртуальной. В результате применения данной технологии реализуется возможность автоматизации существующих и новых резервуарных парков, сформулирован алгоритм работы системы по предупреждению аварии на резервуаре и сохранению качества хранимого топлива.

Материалы и методы. Рассмотрим метод перехода от классической системы автоматизации к виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе.

Для получения требуемых входных данных резервуар необходимо обеспечить измерительными датчиками: термометром для измерения температуры бензина, термометром для

измерения температуры паровоздушной среды, монометром, уровнемером. Также для описания окружающей среды потребуются термометр для измерения температуры воздуха, барометр, измеритель влажности воздуха, датчик скорости ветра и т.д. Данные с датчиков обрабатываются контроллером и подаются на вход управляющей программы. Таким образом, получается классическая модель автоматизации объекта (рисунок 1).

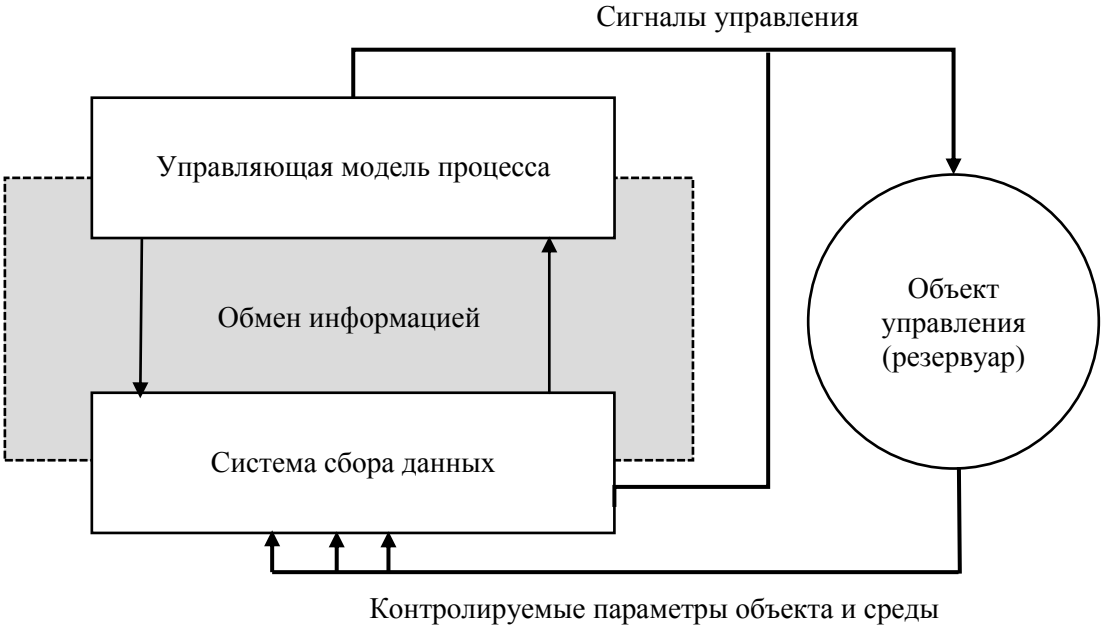


Рисунок 1 – Классическая схема автоматизации объекта управления с применением нейронных сетей

При наличии на нефтескладе нескольких резервуаров, с учетом вышеприведенной схемы автоматизации, каждый резервуар необходимо обеспечить измерительными приборами и присоединить датчики к контроллеру для сбора информации с них. Данные капиталовложения могут быть неоправданно высокими для сельхозтоваропроизводителей. Подключение высокоточных измерительных устройств будет требовать постоянного технического контроля и обслуживания. Бесперебойное обеспечение электроэнергией также является основой успешной работы системы автоматизации. Однако некоторые нефтехозяйства располагаются вдали от населенных пунктов и линий электропередач.

Продемонстрируем возможность применения нейронной сети для решения задачи прогнозирования потерь топлива от испарения, и как следствия возможности формирования сигналов управления, без подключения измерительных датчиков к резервуарам и измерения параметров окружающей среды. Все расчеты можно делать удаленно. Для этого потребуется применять облачные хранилища данных для описания требуемых переменных среды и нейронные сети с различной архитектурой для расчета контролируемых переменных объекта.

При переходе к виртуально-облачной системе автоматизации для каждого контролируемого датчиком параметра резервуара возможно подобрать такую архитектуру нейронной сети, которая с высокой точностью сможет решить задачу определения требуемого физического измерения. Такая нейронная сеть будет служить виртуальным датчиком резервуара или любого другого объекта управления с такими возможностями виртуального объекта, как моделирование сценариев, прогнозирование, обучение и т.д.

Таким образом, при данном подходе будет выполнена виртуально-облачная схема автоматизации объекта управления. При данной схеме автоматизации весь процесс расчётов осуществляется интеллектуальной системой, что позволяет не применять датчики и другие устройства контроля (рисунок 2).

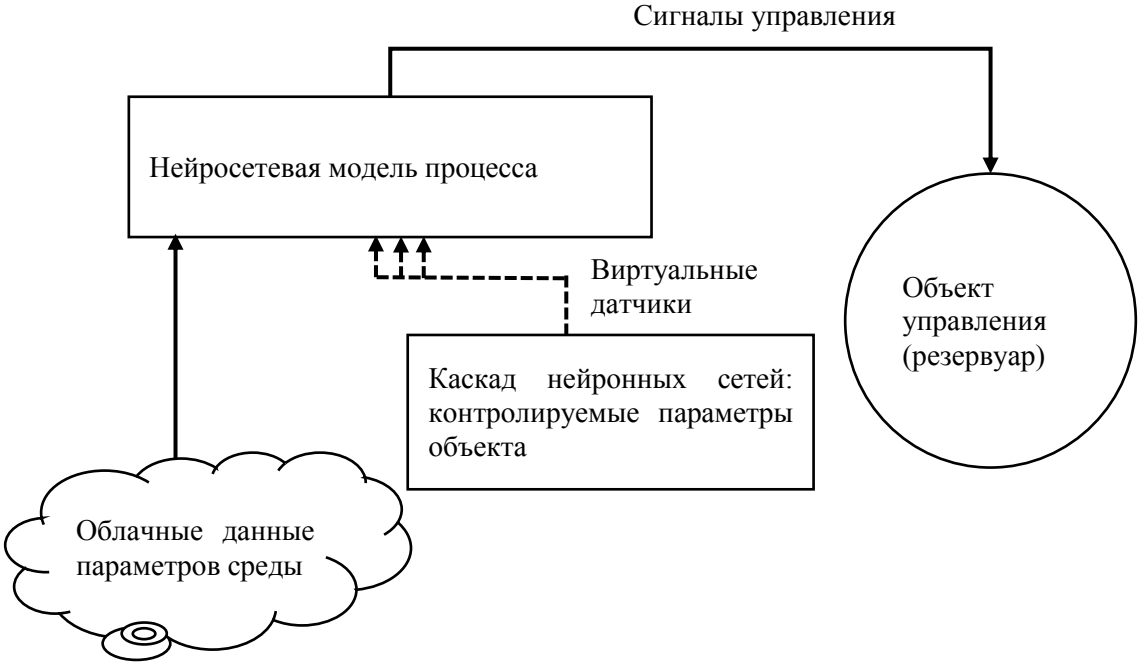


Рисунок 2 – Виртуально-облачная схема автоматизации объекта управления (резервуара) с применением нейронных сетей

Используя данную концепцию, можно автоматизировать существующие резервуары, к которым нет возможности подключить датчики для измерения параметров. В тоже время виртуально облачная система автоматизации резервуара может реализовать различные сценарии по прогнозированию потерь качества и объема топлива, что позволит найти эффективные средства борьбы с ними [5, 6].

Таким образом, виртуально облачная система автоматизации позволяет достичь таких результатов:

1. гибкость системы автоматизации – возможность подключения дополнительных моделей, таких как факторы риска, прочих виртуальных и реальных датчиков не нарушая целостности модели;
2. отсутствие контроллеров и датчиков, экономия средств на их покупку и обслуживание;
3. возможность автоматизации устаревших объектов, не нарушается целостность объекта автоматизации.

Результаты и их обсуждение. Базируясь на искусственном интеллекте и виртуально-облачной системе автоматизации для горизонтального цилиндрического резервуара на сельскохозяйственном нефтескладе разработана методика, позволяющая управлять нефтескладом и решать многофакторные задачи. Дообучение исходной нейросетевой модели на новых данных приведет к уменьшению погрешности вычислений с течением времени. Создан алгоритм работы интеллектуальной системы по предупреждению аварии на резервуаре и сохранению качества хранимого топлива, который разделен на 4 блока: стартовая загрузка начальных данных нефтехозяйства; операция read/write параметров объекта; инициализация вероятностной характеристики возникновения аварии на резервуаре; управление процессом.

Приведем на рисунке 3 алгоритм «Работы основного блока программы».

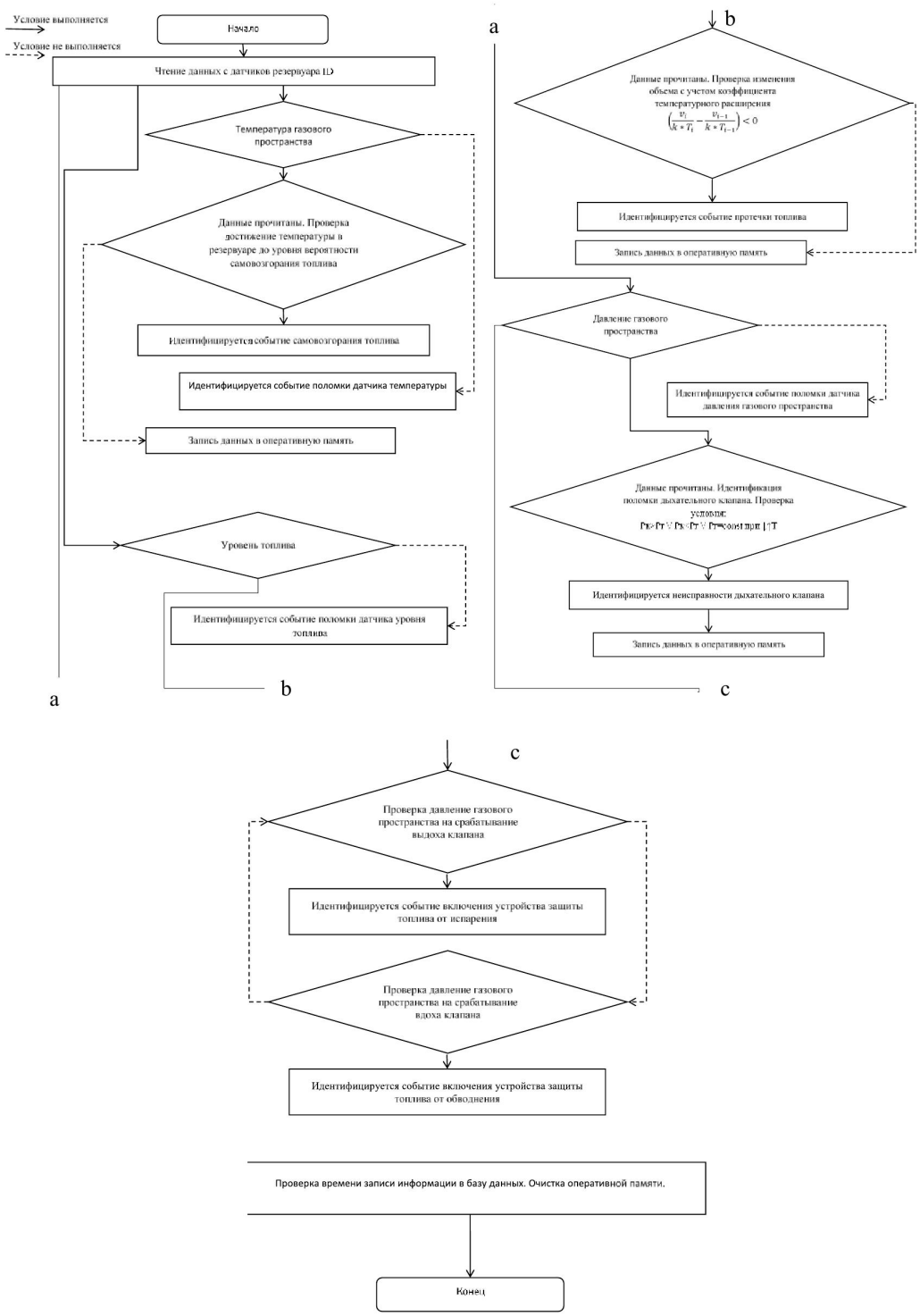


Рисунок 3 – Алгоритм «Работы основного блока программы».

Этапы работы с нейронной сетью для построения модели хранения топлива в резервуаре и управления нефтескладом:

1. Подготовка: выбор критериев входа и выхода для модели, определение факторов, формирование базы данных, очистка базы данных от шумов, формирование массива для обучения и тестирования.

2. Формирование архитектуры нейронной сети: выбор функции активации, количества нейронов, количества слоев, входных и выходных параметров, проверка достаточности наличия количества данных иначе на п1. Нормирование массива данных на выбранный диапазон.

3. Обучение нейронной сети: начальная инициализация весовых коэффициентов и их оптимизация, контроль недопуска переобучения, анализ полученных коэффициентов и влияния входных параметров на общую ошибку, сокращение количества входов, перестроение архитектуры

4. Работа нейронной сети: фиксация коэффициентов, расчет по входным параметрам, прогноз требуемых показателей, автоматизация работы средств защиты топлива.

5. Дообучение на новых данных. Алгоритм моделирования хранения топлива в резервуаре с применением нейронной сети для управления нефтескладом приведен ниже:

Приведенная методика позволяет в непрерывном режиме повышать точность работы интеллектуальной системы управления резервуарным парком.

Стартовая загрузка начальных данных нефтехозяйства состоит в создании общего информационного пространства с параметрами резервуаров сельского нефтехозяйства, загруженном светлом нефтепродукте и т.д. Также в интеллектуальной системе задаются показатели степени вероятности до наступления аварийной ситуации. Экспериментально установлено, что порог вероятности в 10-20% является достаточным по запасу времени для устранения аварийной ситуации.

Операция read/write параметров объекта. Интеллектуальная система выполняет онлайн чтение с датчиков на резервуаре.

Работа триггера на возникновение аварии на резервуаре осуществляется непрерывно в оперативной памяти компьютера и заключается в идентификации проблем объекта при утечки светлого нефтепродукта, выхода из строя дыхательного оборудования, самопроизвольного возгорания нефтепродукта.

Программа управляет контроллером включения системы защиты от обводнения и испарения топлива. При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «вдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от обводнения атмосферной влагой.

При достижении в резервуаре заранее установленного давления срабатывания дыхательного клапана на «выдох» работает контроллер, включающий систему защиты хранимого топлива от испарения.

Управляющее воздействие программы заключается в информировании оператора о идентифицированном негативном событии и/или включении устройств предотвращения негативных событий.

Точность виртуальных датчиков на примере расчёта потерь топлива от испарения из резервуара объемом 50м^3 достигает 95-98%.

Проведя цифровую трансформацию в «Умный нефтесклад» достигается безошибочное управление сохранением качества топлива с вероятностью до 98%.

Выводы. Таким образом, выполнено совершенствование технологии хранения светлых нефтепродуктов с использованием интеллектуального нефтесклада. Разработана концепция умного нефтесклада для сохранения качества топлива при хранении, благодаря которой нефтесклад обеспечен предиктивным анализом по предупреждению аварии на резервуаре, управлением рисками работы нефтесклада, безошибочной работой средств сохранения качества топлива. Показано, что совокупность разработанных программ и методов позволяет сохранять до 98% качества и количества топлива без участия человека вне зависимости от расстояния до сельскохозяйственного нефтесклада и от их количества. Концепция включает в себя интеллектуальную и техническую часть. Структура интеллектуальной системы состоит из блоков: виртуально облачной системы автоматизации для возможности обработки неограниченного количества параметров резервуаров, программы вывода решений к технической части сохранения

качества и интеллектуальный модуль на базе нейронных сетей. Методика виртуально облачной системы автоматизации горизонтального цилиндрического резервуара, построенная каскадом нейронных сетей для имитации виртуальных датчиков, моделирует процесс хранения топлива с точностью до 97 %.

Список литературы

1. Левин М.Ю. Особенности процесса испарения топлива из наземных горизонтальных резервуаров [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2017. № 4 (28). С. 121-130.

2. Левин М.Ю. Расчет потерь моторного топлива от испарения с изменяемой поверхности [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Романцова С.В. // Наука в центральной России. 2017. № 2 (26). С. 77-84.

3. Новоселов В.Ф. и др. Методика расчета потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из наземных резервуаров: Учебное пособие/ В. Ф. Новоселов, В.П. Ботыгин, И. Г. Блинов. – Уфа: Изд-во УНИ, 1987. – 73 с.

4. Коршак А.А. и др. Нефтебазы и АЗС: Учебное пособие/ А. А. Коршак, Г. Е. Коробков, Е. М. Муфтахов. –Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2006 . – 416 с.

5. Левин М.Ю. Управление рисками при хранении светлых нефтепродуктов с применением нейронных сетей [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 79-86.

6. Левин М.Ю. Формализация алгоритма проектирования архитектуры нейронных сетей на практике [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2016. № 1 (19). С. 81-87.

References

1. Levin M.YU. Osobennosti processa ispareniya topliva iz nazemnyh gorizontal'nyh rezervuarov [Tekst] / Levin M.YU., Nagornov S.A., Levina E.YU. // Nauka v central'noj Rossii. 2017. № 4 (28). S. 121-130.

2. Levin M.YU. Raschet poter' motornogo topliva ot ispareniya s izmenyaemoj poverhnosti [Tekst] / Levin M.YU., Nagornov S.A., Romancova S.V. // Nauka v central'noj Rossii. 2017. № 2 (26). S. 77-84.

3. Novoselov V.F. i dr. Metodika rascheta poter' ot ispareniya nefti i nefteproduktov iz nazemnyh rezervuarov: Uchebnoe posobie/ V. F. Novoselov, V.P. Botygin, I. G. Blinov. – Ufa: Izd-vo UNI, 1987. – 73 s.

4. Korshak A.A. i dr. Neftebazy i AZS: Uchebnoe posobie/ A. A. Korshak, G. E. Korobkov, E. M. Muftahov. –Ufa: OOO «DizajnPoligrafServis», 2006 . – 416 s.

5. Levin M.Yu. Risk management during storage of light petroleum products using neural networks [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A. // Science in central Russia. 2017. No 1 (25). S. 79-86.

6. Levin M.Yu. Formalization of the algorithm for designing the architecture of neural networks in practice [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A. // Science in central Russia. 2016. No. 1 (19). S. 81-87.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Левин Максим Юрьевич – кандидат технических наук Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: lmu@list.ru.

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

Левина Екатерина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, г. Москва.

Author credentials

Affiliations

Levin Maxim – Candidate of Technical Sciences of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: lmu@list.ru.

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

Levina Ekaterina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bauman Moscow State Technical University", Russia, Moscow.

Поступила в редакцию (Received): 19.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2019

УДК 635.21: 005.58
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-91-99

ОПТИЧЕСКИЙ ПОЛЕВОЙ МОНИТОРИНГ В ОРИГИНАЛЬНОМ КАРТОФЕЛЕВОДСТВЕ

[1]Старовойтов Виктор Иванович
[1]Старовойтова Оксана Анатольевна
[2]Балабанов Виктор Иванович
[2]Манохина Александра Анатольевна

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха»
[2]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Перспективным направлением развития сельскохозяйственного мониторинга является использование беспилотных летательных аппаратов. Анализ критериев по распознаванию растений в полевых условиях показал, что для оригинального семеноводства картофеля применимы и эффективны NDVI формулы вегетативного индекса растений. В работе проанализированы основные существующие формулы NDVI. Установлено, что при появлении всходов, в течение вегетационного периода, росту биомассы картофеля соответствует увеличение значений NDVI. С наступлением периода созревания снижается содержание хлорофилла и, соответственно, значения NDVI. NDVI характеризует плотность растительности, что позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Выявлено, что по индексу NDVI с высокой точностью можно прогнозировать урожайность посевов. Обосновано, что для картофеля из-за большой биомассы, прежде всего зеленых листьев и стеблей, интерес представляет использование критерия – GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленого нормализованного разностного вегетационного индекса. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется в зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Проанализированы существующие программные комплексы по интерпретации графических данных в области сельскохозяйственного мониторинга. Анализ сервисов для работы с БПЛА: Drone Deploy, Pix4D, AgVault, Agisoft Photo Scan, Drone Mapper, Farm Lens, Inpho UAS Master, ENVI, Analist 2017 показал, что все они основаны на подключении через мобильное приложение к пульту управления беспилотным летательным аппаратом и могут быть использованы для оптического полевого мониторинга в оригинальном картофелеводстве.*

Ключевые слова: *критерии, вегетационный индекс, мониторинг, БПЛА, растение, оптический спектр.*

OPTICAL FIELD MONITORING IN ORIGINAL POTATO FARMING

[1]Starovoitov Viktor
[1]Starovoitova Oksana
[2]Balabanov Victor
[2]Manokhina Aleksandra

[1]FSBSI "Lorch Potato Research Institute"
[2]FSBEI HE "Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *A promising area for the development of agricultural monitoring is the use of unmanned aerial vehicles. An analysis of the criteria for recognizing plants in the field showed that the NDVI formulas of the vegetative index of plants are applicable and effective for the original potato seed production. The main existing NDVI formulas are analyzed in the work. It was established that when seedlings appear during the growing season, an increase in potato biomass corresponds to an increase in NDVI values. The content of chlorophyll and, accordingly, the value of NDVI, decreases with the onset of the ripening period. NDVI characterizes the density of vegetation, which allows growers to evaluate the germination and growth of plants, the productivity of the land. It was revealed that crop yield can be predicted with high accuracy using the NDVI index. It is proved that for potatoes, due to the large biomass, primarily green leaves and stems, it is of interest to use the criterion - GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) - Green normalized difference vegetation index. It is proved that for potatoes, due to the large biomass, primarily green leaves and stems, it is of interest to use the criterion - GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) - Green normalized difference vegetation index. This indicator is similar to the NDVI indicator, except that it is measured in the green spectrum from 540 to 570 nm., instead of changes in the red spectrum. Existing software systems for interpreting graphic data in the field of agricultural monitoring are analyzed. Analysis of services for working with UAVs: Drone Deploy, Pix4D, AgVault, Agisoft Photo Scan, Drone Mapper, Farm Lens, Inpho UAS Master, ENVI, Analist 2017 showed that all of them are based on connecting to the control panel of an unmanned aerial vehicle and can be used for optical field monitoring in original potato growing.*

Keywords: *criteria, vegetation index, monitoring, UAV, plant, optical spectrum.*

Введение. Сегодня в сельскохозяйственное производство активно внедряются высокоточные технологии, к которым относятся и использование информации со спутников, и агромониторинг полей с помощью беспилотных дронов.

Для получения снимков со спутников применяют различную съемочную аппаратуру. Спутниковые сканеры, принцип работы которых такой же, как и устройство для ввода изображений в компьютер в отличие от фотокамер работают во многих диапазонах электромагнитного спектра [1]. Микроскопические элементы, чувствительные к электромагнитному излучению, регистрируют яркость объектов, вырабатывая электрический сигнал. Он оперативно, практически мгновенно, передается в цифровом виде на земные приемные станции. С 23 июля 1972 года началась наиболее продолжительная программа по спутниковому картографированию поверхности планеты.

В настоящее время уже имеется определенный опыт использования беспилотников в сельском хозяйстве. Они позволяют получать актуальную и точную информацию о площади, рельефе, специфики грунта полей, сельскохозяйственных процессах [2 – 4].

Социально значимой культурой в России является картофель, он занимает большое значение в рационе питания россиян [5 – 7], поэтому использование высокоточных технологий при его производстве весьма актуально. Картофелеводство имеет свою специфику и важно провести анализ накопленных знаний. Оригинальное семеноводство картофеля – направление работ, где особенно важно получить качественный семенной материал, используя современные технологии.

Получение производных изображений по полученным снимкам путем обработки по специальным алгоритмам в избранных зонах спектра позволяет изучать продуктивность растений, биомассу и интенсивность фотосинтеза [8].

Наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) показали, что в спектральном признаковом пространстве каждый вид культуры в определенные сроки и в определенной фазе развития образует компактный кластер (совокупность однородных фотометрических точек) [9]. Количественной характеристикой состояния посевов служит нормализованный вегетационный индекс NDVI. В определенной точке изображения NDVI – это отношение разности интенсивностей отраженного света в инфракрасном и красном диапазонах спектра к их сумме. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а инфракрасная область отвечает за максимум отражения клеточными структурами листа [9].

При появлении всходов, в течение вегетационного периода, росту биомассы картофеля соответствует увеличение значений NDVI, а с наступлением периода созревания снижается

содержание хлорофилла и, соответственно, значения NDVI. Снижение значений NDVI в период активной вегетации (до наступления фазы цветения) свидетельствует о состоянии посадок картофеля, так же это может быть поражение посадок болезнями или вредителями, наличием сорняков, следствием стихийных явлений (град, ливни, засуха, пожары).

Исследования выявили, что при освещении клеток красным светом с длинной волны 650-680 нм уровень фотосинтеза был достаточно высоким. Однако при дальнейшем увеличении длины волны света свыше 685 нм, уровень фотосинтеза резко падал. Этот феномен называют «первым эффектом Эмерсона – эффектом красного падения». В настоящее время существует около 160 критериев оценки растений – различных вариантов вегетационных индексов. Таким экспериментальным образом (эмпирическим путем) создается электронная библиотека. Индексы подбираются, исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв. Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62-0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75-1,3мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. То есть, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Хорошо известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов [10].

Цель – найти оптимальное программное обеспечение, отвечающее поставленным задачам: оценки развития посадок оригинального картофеля.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить существующие программные комплексы по интерпретации графических данных в области сельскохозяйственного мониторинга.
2. Изучить принцип и алгоритмы работы комплексов обрабатывающих данные.
3. Изучить основные формулы NDVI.
4. Оценить возможности использования разработанных критериев в оригинальном семеноводстве картофеля и дать предложения.

Результаты и их обсуждение.

Особенности формул. Наиболее популярный и часто используемый индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс растительности, впервые был описан Rouse B.J. в 1973 г. – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Проанализировав перечень вегетативных индексов и их параметров мы также пришли к выводу о необходимости использовать для наших дальнейших исследований вегетативный индекс NDVI.

По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны можно рассчитать только два индекса – NDVI и RVI. Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует плотность растительности, что позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений коэффициентов отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1 [11].

Сам по себе, NDVI существует гораздо дольше, чем другие показатели растительности. Он является самым распространённым показателем, вот почему о нём говорят чаще, чем о других. Простым языком, NDVI показывает уровень фотосинтеза в растениях. Однако если вы не проконтролировали все варианты, этот показатель вам не скажет ничего, как плохого, так и хорошего. NDVI это всего лишь часть мозаики – до самой же сути вам предстоит ещё добраться. Это требует определённых знаний [12].

Для того чтобы эффективно использовать данные NDVI для принятия управленческих решений, или для установления сути вопроса, нужно понимать специфику сортов сельскохозяйственных культур, полевые условия, уровень роста, процесс внесения удобрений и

пестицидов, а также среду, в которой созревают растения (в первую очередь влажность и температуру) [13].

Поскольку картофель обладает большой биомассой, в первую очередь зеленых листьев и стеблей, интерес представляет использование еще одного критерия – GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленый нормализованный разностный вегетационный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем нормализованный разностный вегетационный индекс НРВИ.

Индекс применим при оценке угнетенной и стареющей растительности. Эффективен при оценке содержания азота в листьях растений по мультиспектральным данным, у которых отсутствует крайний красный канал. GNDVI вычисляется по формуле:

$$GNDVI = (NIR - green) / (NIR + green),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области. Диапазон значений индекса -1 – 1.

Этот индекс может использоваться для анализа культур в средних и поздних стадиях роста.

DVI (Difference Vegetation Index) – это простой вегетационный индекс растительности. Этот индекс позволяет провести различие между почвой и растительностью, но не учитывает разницу между коэффициентом отражения и сияния, вызванные атмосферными эффектами или тени. Этот показатель может быть использован для культур на всех этапах роста. Вычисляется по формуле:

DVI = NIR – Red, где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red - отражение в красной области спектра.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – скорректированный почвенно-растительный вегетационный индекс. Был разработан как модификация индекса NDVI для устранения влияния яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в ранних или средних стадиях роста. На ранней стадии роста рекомендуется производить анализ, когда есть четко разделенные рядами растения и почва. Средний сезон развития растений рекомендуется производить анализ, когда растения не соприкасаются, находятся в разных рядах, и отбрасывают равномерную тень. Вычисляется по формуле:

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)]*(1 + 0.5),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,5 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Введен Huete в 1988 году.

OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) – является упрощенной версией скорректированного почвенно-растительный вегетационного индекса, чтобы минимизировать влияние яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине роста, в районах с относительно разреженной растительностью, где грунт виден через растительный покров. Вычисляется по формуле:

$$OSAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)]*(1 + 0.16),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,16 – поправочный коэффициент на яркость почвы.

Расшифровка формул. Green Leaf Index (GLI) – индекс «зелености» листа используется для анализа состояния цвета листовой поверхности исследуемого растительного покрова, может помочь агроному выявить состояние растений в конкретный момент и принять необходимые решения для исправления ситуации. Green Leaf Index (GLI) – индекс «зелености» листа был разработан, чтобы определить степень зеленого состояния и желтизны растений, в основном используется для систем мониторинга на небольшой высоте, таких как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны. Этот показатель может быть использован на всех этапах роста. Имеет диапазон от -0,15 желтое растение до +0,39 полностью здоровое зеленое растение.

VARI (Visible atmospherically resistant index) – видимый атмосфероустойчивый вегетационный индекс, предназначается для создания атмосферной коррекции и является хорошим показателем для оценки доли растительности в видимом диапазоне спектра. Этот индекс может использоваться для анализа культур на всех стадиях роста.

Имеет диапазон от -1,0 отсутствие растительного покрова до +1,0 почва покрыта растениями.

ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index) – улучшенный нормализованный разностный вегетационный индекс. Вам уже известен популярный среди агрономов

вегетационный индекс NDVI, который по мнению большинства из них в скором будущем станет промышленным стандартом. ENDVI является ближайшим эквивалентом или модифицированной версией индекса NDVI, предназначен для беспилотных летальных аппаратов. ENDVI является показателем живой зеленой растительности, и может быть использован для мониторинга выращивания культур на всех этапах роста.

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленый нормализованный разностный вегетационный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем нормализованный разностный вегетационный индекс НРВИ. Показатель фотосинтетической активности растительного покрова, наиболее часто используемый при оценке влагосодержания и концентраций азота в листьях растений. Назначение: Индекс применим при оценке угнетенной и стареющей растительности. Эффективен при оценке содержания азота в листьях растений по мультиспектральным данным, у которых отсутствует крайний красный канал. GNDVI вычисляется по формуле:

$$GNDVI = (NIR - green)/(NIR + green),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области. Диапазон значений индекса -1 – 1. Авторы метода: Гительсон А., М. Мерзляк. «Дистанционное зондирование концентрации хлорофилла в листьях растений». Достижения в области космических исследований 22 (1998): 689-692. Этот индекс может использоваться для анализа культур в средних и поздних стадиях роста.

DVI (Difference Vegetation Index) – это простой вегетационный индекс растительности. Этот индекс позволяет провести различие между почвой и растительностью, но не учитывает разницу между коэффициентом отражения и сияния, вызванные атмосферными эффектами или тени. Этот показатель может быть использован для культур на всех этапах роста. Вычисляется по формуле: DVI = NIR – Red, где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – скорректированный почвенно-растительный вегетационный индекс. Был разработан как модификация индекса NDVI для устранения влияния яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в ранних или средних стадиях роста. На ранней стадии роста рекомендуется производить анализ, когда есть четко разделенные рядами растения и почва. Средний сезон развития растений рекомендуется производить анализ, когда растения не соприкасаются, находятся в разных рядах, и отбрасывают равномерную тень. Вычисляется по формуле:

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)]*(1 + 0.5),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,5 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Введен Huete в 1988 году.

OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) – является упрощенной версией скорректированного почвенно-растительный вегетационного индекса, чтобы минимизировать влияние яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине роста, в районах с относительно разреженной растительностью, где грунт виден через растительный покров. Вычисляется по формуле:

$$OSAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)]*(1 + 0.16),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,16 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Упоминается в работах М. Стивен, Ф. Барет. «Оптимизация почвенно-растительных вегетационных индексов». Дистанционное зондирование окружающей среды №55 (1996): 95-107.

RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index) – Ренормализованный разностный вегетационный индекс. RDVI использует преимущества DVI и NDVI, и нечувствителен к воздействию почвы и геометрии наблюдения солнца. Этот показатель не рекомендуется для обследования участков с редкой растительностью. Этот индекс может использоваться для анализа культур на всех этапах роста. Индекс использует разницу между ближней инфракрасной и красной длин волн, для выделения здоровой растительности. Вычисляется по формуле:

$$RDVI = \frac{(NIR - Red)}{\sqrt{(NIR + Red)}},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра GDVI (Green Difference Vegetation Index) – Зеленый разностный вегетационный индекс. Этот индекс был изначально разработан с цветной инфракрасной фотографии для прогнозирования потребности азота для кукурузы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине их роста. Вычисляется по формуле:

$$GDVI = NIR - Green,$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области спектра.

NGRDI (Normalized Green Red Difference Index) – нормализованный зелено-красный разностный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI за исключением того, что он измеряетсся в зеленом спектре от 540 до 570 нм вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем НРВИ. Используется для обнаружения наиболее зеленых участков растительного покрова. Вычисляется по формуле:

$$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области спектра.

Подсчитанные значения индекса включают: RGB (GLI, VARI, NGRDI), BGNIR (ENDVI, GNDVI, GSAVI), RGNIR (NDVI, MNLI, OSAVI), Micasense (MTVI-1, LAI, гари).

По оценкам компании AUVSI (крупнейшая в мире некоммерческая организация, посвященная исключительно продвижению беспилотных систем и робототехники) за ближайшие 10 лет 80 % рынка БПЛА будут востребованы в сельском хозяйстве.

По данным многочисленных научных публикаций, по индексу NDVI с высокой точностью можно прогнозировать урожайность посевов. Вегетационный индекс NDVI изменяется весь сезон и его значения различны во время роста, цветения и созревания растений. В начале вегетационного сезона индекс нарастает, в момент цветения его рост останавливается, затем по мере созревания, NDVI снижается. В зависимости от почвенного плодородия, метеоусловий и технологии возделывания посевов скорость развития биомассы будет разной. Поэтому по среднему значению NDVI на поле легко сравнивать состояние посевов во время вегетации: на одних полях посевы развиваются быстрее (лучше), на других – медленнее (хуже).

Помимо использования NDVI, возможно использование и других формул распознавания [14].

Карты вегетационных индексов и снимки высокого разрешения – источники актуальной информации о состоянии посевов. По этим данным легко обнаружить участки с угнетенной растительностью, нарушения процесса высева, подверженные эрозии области.

Для сопровождения точного земледелия карты вегетационного индекса используются как исходные данные при определении однородных по плодородию зон. В сочетании с агрохимическим анализом почвы, эти данные позволяют создавать файлы предписаний для дифференцированного внесения минеральных удобрений. В отсутствии данных агрохимического обследования, те же карты зон плодородия используются для оптимизации пробоотбора: вместо отбора по регулярной сетке, пробы отбираются по зонам, что сокращает количество проб и уменьшает влияние случайных факторов на результаты анализа.

Простейший замер NDVI может показать плотность растений на определенном участке.

«Чем плотнее урожай, тем меньше удобрений вам необходимо применить». Информация полезна, поскольку чрезмерное применение удобрений может привести к загрязнению, когда она попадает в водоемы. В оригинальном семеноводстве растения, как правило, имеют выровненный потенциал урожайности, габитус и биомассу. Это позволяет создавать исходную электронную библиотеку сортов картофеля и репродукций.

Пользу в сельском хозяйстве от БПЛА можно извлечь не только замерами NDVI здоровья растений, но и созданием 3D карты, карты рельефа местности.

Примером является обнаружение сорняков путем замера высоты растений. В оригинальном семеноводстве высота и плотность растений имеют малую дисперсию, так что внезапные провалы или пики в профиле обозначают возможное присутствие сорняков. Здесь помощником стало точное 3D изображение местности и карта высот, рельеф местности.

Также, оценка высоты растений имеет важное значение для картофелеводов, данные такого плана позволяют убедиться в равномерном росте растений. Когда некоторые растения растут быстрее, чем другие, они имеют тенденцию заслонять медленно растущие растения, уменьшая их доступ к солнечному свету и превращая их в сорняки. Понятно, что «вручную» оценить высоту растений на всей площади поля невозможно. Фермеры будут просто анализировать сегмент участка, а затем теоретически будут давать оценку всего поля на основе данных с тестируемого участка. БПЛА решает эту проблему за счет сокращения времени на мониторинг и получение точных данных со всего поля.

Анализ сервисов для работы с БПЛА.

1. Drone Deploy – наверное, самый популярный сервис в этой сфере, прост в использовании, работает в облаке (доступ с любого места, с любого устройства), достаточно функциональный и удобный.

2. Pix4D – один из самых функциональных сервисов, работает как в облаке, так и на ПК. За счет этого сильно меняется функционал. Десктопное приложение, наверное одно из самых функциональных в области. Что примечательно, еще несколько сервисов используют технологии Pix4D в своей работе.

3. AgVault – конкретно ориентирован на точное земледелие и на работу с БПЛА, есть мобильное приложение для хранения и контроля полученной информации. Продают мультиспектральную камеру для БПЛА DJI Phantom 4. Есть десктопное приложение.

4. Agisoft Photo Scan – крайне функциональное профессиональное ПО для создания ортофото, карт рельефа, 3D моделей, обработки мультиспектральных снимков. Для создания объектов в 3D это самый функциональный и самый наверное сложный продукт.

5. Drone Mapper – предлагает достаточно широкий функционал для обработки снимков с БПЛА. Ориентируются именно на беспилотники, есть все необходимые функции: ортофото, карты рельефа, карты NDVI.

6. Farm Lens – система все-в-одном: планирование полета, сбор информации, обработка происходит при помощи приложения и серверов компании. В отличии от Skycatch (Skycatch – система все-в-одном: планирование полета, сбор информации, обработка происходит при помощи приложения и серверов компании. Изначально ориентируются на работу именно с БПЛА в сегменте строительства. Кроме того, предлагают собственного дрона. В своем сегменте предлагают очень хороший сервис, единственное, сейчас не предлагают работы в сфере точного земледелия.) работают в сегменте сельского хозяйства. Тоже предлагают своего дрона.

7. Inpho UAS Master – программа от известной компании Trimble. Разработана для работы с БПЛА. Предлагает полный спектр работ с информацией, получаемой с беспилотника: создание ортофотопланов, карт рельефа, карт NDVI. Полная интеграция с другими фотограмметрическими модулями Inpho.

8. ENVI – приложение предлагает широкий функционал для обработки данных, работает практически со всеми типами сенсоров. Есть набор узкоспециализированных модулей, что позволяет расширить функционал под конкретную область применения.

9. Analist 2017 – профессиональное программное обеспечение для обработки информации получаемой с БПЛА. Присутствует весь необходимый функционал, есть модуль ориентированный на сельское хозяйство.

Основной принцип работы большинства программ такого типа является: подключение ПО через мобильное приложение к пульту управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), регулировка данных облета, настройка миссии (на данном этапе производится регулировка высоты полета БПЛА, угол наклона камеры, скорость полета летательного аппарата, схема облета, частота съемки и регулировка камеры адекватно погодным условиям) и запуск БПЛА для обследования, производится фотосъемка необходимых зон и объектов и облет автоматически. После завершения миссии, каждое полученное изображение имеет конкретную привязку к GPS координатам.

Полученный материал загружается в облако хранения информации и автоматически после загрузки отправляется на составление подробной карты местности с привязкой к геолокации (Google Maps). Обработка информации занимает от 2-х до 36 часов времени и на выходе получаем запрашиваемые данные на платформе. Данные получаем в нескольких форматах и имеем

возможность отправлять на цифровые устройства по средствам сети интернет в компьютер начальника отдела контроля находящегося в офисе.

Помимо функций изображения, данные имеют и цифровые значения (высота над уровнем моря, координаты точек, возможность измерения расстояния, площади и объема объектов на местности). Возможность в самом функционале делать пометки, в том числе и онлайн пометки по принципу Google документы.

Выводы. Таким образом, анализ критериев по распознаванию растений в полевых условиях показывает, что для оригинального семеноводства картофеля применимы и эффективны NDVI формулы вегетативного индекса растений.

Список литературы.

1. Черепанов А.С. Вегетационные индексы: справочные материалы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98-102.

2. Железова С.В., Ананьев А.А., Вьюнов М.В., Березовский Е.В. Мониторинг посевов озимой пшеницы с применением беспилотной аэрофотосъемки и оптического датчика GreenSeeker RT200 // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 6. – С. 56-61.

3. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images[Электронный ресурс]. – 2003. – URL: PLos One. 2013. V 8. Issue 10.e.77151 · DOI: 10.1371/journal.pone.0077151 · Source: PubMed.

4. Colomina I and Molina P. Unmaned Aerial Systems for Photogrammetry and Remove Sensing: A review// ASPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014.– №92. – p.79-97.

5. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. Переработка картофеля экономически целесообразна // Картофель и овощи. – 2008. – № 7. – С. 2-3.

6. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Манохина А.А., Жовреннко Т.В., Леденев В.П. Внедрение инноваций в агропромышленный сектор – ключ к развитию экономики России // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 4. С. 36-40.

7. Старовойтова О.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И., Овэс Е.В., Коршунов А.В., Манохина А.А., Балабанов В.И. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля.: Росинформагротех, 2018.– 233 с.

8. Агропрактик [Электронный ресурс] URL: http: // agropraktik.ru/personal_blog/discussed/?period=all

9. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Щербенко Е.В. Разработка методов мониторинга пахотных земель России по данным спутниковых наблюдений радиометром MODIS. – М.: ИКИ РАН, 2007. – 222 с.

10. Википедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERDAS_Imagine

11. Нейштадт И.А., Барталев С.А., Ершов Д.М. и др. Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений Terra/Modis для мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоинформатика. – 2004. – С. 205-209.

12. Хворова Л.А., Брыксин В.М. Применение математических методов и математического моделирования для оценки агроклиматического потенциала территорий // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1(23). – С. 41-45.

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

14. Жевора С.В., Рубин Д.Т., Старовойтов В.И., Кладко С.Г., Андряков Д.А., Жорин Ф.В., Ворончихин В.В. Перспективы использования программных комплексов сельскохозяйственного мониторинга в картофелеводстве // В сборнике: Картофелеводство Материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. – 2017. – С. 27-39.

References

1. CHerepanov A.S. Vegetacionnye indeksy: spravochnye materialy // Geomatika. – 2011. – № 2. – S. 98-102.

2. ZHelezova S.V., Anan'ev A.A., V'yunov M.V., Berezovskij E.V. Monitoring posevov ozimoj pshenicy s primeneniem bespilotnoj aerofotos"emki i opticheskogo datchika GreenSeeker RT200 // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 6. – S. 56-61.

3. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images[Elektronnyj resurs]. – 2003. – URL: PLos One. 2013. V 8. Issue 10.e.77151 • DOI: 10.1371/journal.pone.0077151 • Source: PubMed.

4. Colomina I and Molina P. Unmaned Aerial Systems for Photogrammetry and Remove Sensing: A review// ASPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014.– №92. – p.79-97.

5. Starovojtov V.I., Starovojtova O.A. Pererabotka kartofelya ekonomicheski celesoobrazna // Kartofel' i ovoshchi. – 2008. – № 7. – S. 2-3.

6. Starovojtov V.I., Starovojtova O.A., Zvyagincev P.S., Manohina A.A., ZHovrenenko T.V., Ledenev V.P. Vnedrenie innovacij v agropromyshlennyj sektor – klyuch k razvitiyu ekonomiki Rossii // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2015. № 4. S. 36-40.

7. Starovojtova O.A., ZHevora S.V., Starovojtov V.I., Oves E.V., Korshunov A.V., Manohina A.A., Balabanov V.I. Konkurentosposobnye tekhnologii semenovodstva, proizvodstva i hraneniya kartofelya.: Rosinformagrotekh, 2018.– 233 s.

8. Agropraktik [Elektronnyj resurs] URL: http: // agropraktik.ru/personal_blog/discussed/?period=all

9. Bartalev S.A., Lupyan E.A., Nejshtadt I.A., SHCHerbenko E.V. Razrabotka metodov monitoringa pahotnyh zemel' Rossii po dannym sputnikovyh nablyudenij radiometrom MODIS. – M.: IKI RAN, 2007. – 222 s.

10. Vikipediya [Elektronnyj resurs] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERDAS_Imagine

11. Nejshtadt I.A., Bartalev S.A., Ershov D.M. i dr. Algoritmy analiza dannyh sputnikovyh nablyudenij Terra/Modis dlya monitoringa sel'skohozyajstvennyh zemel' // Geoinformatika. – 2004. – S. 205-209.

12. Hvorova L.A., Bryksin V.M. Primenenie matematicheskih metodov i matematicheskogo modelirovaniya dlya ocenki agroklimaticheskogo potenciala territorij // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2002. – № 1(23). – S. 41-45.

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

14. ZHevora S.V., Rubin D.T., Starovojtov V.I., Kladko S.G., Andryakov D.A., ZHorin F.V., Voronchihin V.V. Perspektivy ispol'zovaniya programmnyh kompleksov sel'skohozyajstvennogo monitoringa v kartofelevodstve // V sbornike: Kartofelevodstvo Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. Pod redakciej S.V. ZHevory. – 2017. – S. 27-39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Старовойтов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir2@mail.ru.

Старовойтова Оксана Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково.

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.

Манохина Александра Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: alexman80@list.ru

Author credentials

Affiliations

Starovoitov Viktor - Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Starovoitova Oksana – Candidate of agricultural sciences, leading researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo.

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.

Manokhina Alexandra – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: alexman80@list.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.11.2019

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 30.12.2019. Заказ № 56.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 10.40 усл. печ. л. Тираж 100 экз.

Михаилу Николаевичу Краснянскому 50 лет!

Доктор технических наук, профессор РАН Михаил Николаевич Краснянский руководит одним из крупнейших технических учебных и научных центров инновационно-технологического развития Тамбовской области, занимающего лидирующие позиции по подготовке высококвалифицированных специалистов по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии. Тамбовский государственный технический университет, возглавляемый М.Н. Краснянским, ежегодно входит в топ-100 вузов России по данным таких значимых рейтингов, как Национальный рейтинг университетов по версии «Интерфакса», рейтинг РАЭКС-Аналитика и ряд международных рейтингов университетов (Webometrics, QS-BRICS и QS-EECA). Количество обучающихся превышает восьми тысяч человек. Ежегодный выпуск молодых специалистов с высшим и средним профессиональным образованием составляет около 2000 человек.

Михаил Николаевич успешно сочетает работу руководителя и ученого. В сферу его научных интересов входят теория и методы автоматизированного проектирования технических систем многоассортиментных химических производств с учетом надежности функционирования технологического оборудования, проектирование информационно-образовательных систем с удаленным многопользовательским компьютерным доступом к лабораторному и промышленному оборудованию, разработка виртуальных тренажеров для обучения операторов технических систем основам работы в штатных и аварийных ситуациях. Результаты его научно-исследовательской деятельности представлены в монографиях, статьях в российских и международных рецензируемых научных журналах, патентах на изобретение и свидетельствах государственной регистрации программ для ЭВМ. Михаил Николаевич является научным руководителем кандидатов наук. Под его руководством выполнено 15 научно-исследовательских проектов федерального и регионального уровня, 3 международных проекта.

За многолетнюю плодотворную работу по развитию и совершенствованию учебного процесса, значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки РФ. Награжден медалью «Лауреат ВВЦ» за организацию интерактивной информационно-обучающей среды в сети Internet по подготовке специалистов инженерного профиля.

Научные заслуги Михаила Николаевича Краснянского признаны Российской академией наук. В 2016 году ему присвоено звание «Профессор РАН». Российская академия наук совместно с Министерством просвещения Российской Федерации высоко оценили мощный кадровый потенциал ТГТУ, его научно-техническую базу, а также многолетний опыт сотрудничества с профильными институтами Российской академии наук и образовательными организациями Тамбовского региона и включили Тамбовскую область в число участников проекта по созданию базовых школ РАН. М.Н. Краснянский стал региональным координатором этого проекта.

С 2016 года Михаил Николаевич является Президентом Ассоциации «Объединенный университет имени В.И. Вернадского», уставной целью которой является консолидация научного и образовательного потенциала учебных заведений и научно-исследовательских учреждений Тамбовской области и центрально-черноземного региона. Под его руководством Ассоциация регулярно проводит крупные международные конференции на тамбовской земле, в которых за последние четыре года приняли участие более 2000 ученых и молодых исследователей. В числе государств, представители которых участвовали в конференциях – США, Германия, Италия, Португалия, Словакия, Китай, Казахстан, Беларусь.

В 2019 году был подписан трехсторонний меморандум между главой администрации Тамбовской области А.В. Никитиным, ректором Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова В.А. Садовничим и президентом Ассоциации «Объединенный университет имени В.И. Вернадского» М.Н. Краснянским о создании Научно-просветительского консорциума «Вернадский – Тамбов», который призван обеспечить обмен опытом между научными школами МГУ имени М.В. Ломоносова и тамбовскими вузами, объединить усилия ведущих научных школ России для разработки и реализации новых технологических решений.

Успешная работа ТГТУ по всем этим направлениям, реализация масштабных проектов и задач стала возможной благодаря работе высокопрофессиональной команды университета под руководством ректора Михаила Николаевича Краснянского. Впереди у вуза новые победы и достижения, новые научные проекты и развитие образовательных возможностей, расширение сети партнеров в России и за рубежом, совершенствование инфраструктуры и социальной сферы. Без сомнения, слаженный коллектив сотрудников и студентов справится с этими задачами.