«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

№ 1 (49), 2021 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.

№ 1 (49). Дата выхода в свет 26.02.2021. 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», 2021

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 1 (49), 2021 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

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

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

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

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

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – заведующий лабораторией 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 – главный научный сотрудник лаборатории использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ожерельев В.Н.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА И РЕЖИМА РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФРЕЗЫ НА БОКОВОЙ ВЫНОС ПОЧВЫ 5
Шварц А.А., Шварц С.А., Коротков И.В., Ветров И.Ю., Секретарев А.П.
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ 12
Ерохин Г.Н., Коновский В.В.
О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР 22
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д.
ДИНАМИКА ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛОТЫХ ЗЕРНОВОК ЯЧМЕНЯ ИЗ ЗЕРНОСМЕСИ 29
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д.
ДИНАМИКА И КАЧЕСТВО ВЫДЕЛЕНИЯ ГРЕЧИШКИ ВЬЮНКОВОЙ ИЗ ЯЧМЕНЯ 36
Иванова Э.С., Родионов Ю.В., Зорина О.А., Никитин Д.В., Скоморохова А.И., Щегольков А.В.
ИННОВАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ 43
Доровских В.И., Жариков В.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НА СОСОК ЖИВОТНОГО ВО ВРЕМЯ ТАКТА СЖАТИЯ 54
Петрашев А.И., Таха Ф.
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ НОЖ РЫЧАЖНОГО ТИПА ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ 59
Ли Р.И., Псарев Д.Н., Киба М.Р.
ЭЛАСТОМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ 69
Жевора С.В., Старовойтов В.И., Яшин А.Я., Манохина А.А., Яшин Я.И.
ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЯ 80
Багиев Г.Л., Пинчук А.В., Калюжный М.С.
ПОТЕНЦИАЛ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЦЕПОЧКЕ СОЗДАНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СФЕРЫ 87

CONTENTS

Ozherelev V.
INFLUENCE OF ROTOR PARAMETERS AND OPERATING MODE OF VERTICAL TILLAGE CUTTER ON SIDE DISCARD OF SOIL 5
Schwartz A., Schwartz S., Korotkov I., Vetrov I., Secretary A.
ANALYSIS OF STRUCTURES OF WORKING BODIES OF GRANULATED FERTILIZER SPREADERS 12
Erokhin G., Konovskiy V.
ABOUT THE DURATION OF HARVESTING OF GRAIN CROPS 23
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K. Alshinayin H.J.J.
DYNAMICS OF SEPARATION OF BARLEY GRAINS FROM THE GRAIN MIXTURE 30
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K. Alshinayin H.J.J.
DYNAMICS AND QUALITY OF EXTRACTION OF BINDWEED BUCKWHEAT FROM BARLEY 36
Ivanova E., Rodionov Y., Zorina O., Nikitin D., Skomorokhova A., Schegolkov A.
INNOVATIVE CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGIES FOR DRYING FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS 43
Dorovskikh V., Zharikov V.
A STUDY OF THE IMPACT OF THE LINER MILKING MACHINE NIPPLE OF THE ANIMAL DURING THE COMPRESSION STROKE 54
Petrashev A., Taha F.
LEVER TYPE HYDRAULIC KNIFE FOR LOW-TONNAGE PRODUCTION OF THE CONSERVATION COMPOSITION 60
Li R., Psarev D., Kiba M.
ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE FOR RESTORATION WORN-OUT BODY PARTS VEHICLES AND TRACTORS 70
Zhevora S., Starovoitov V., Yashin A., Manokhina A., Yashin Y.
RESEARCH OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF POTATOES 80
Bagiev G., Pinchuk A., Kaliuzhnyi M.
POTENTIAL AND PROBLEMS OF USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN THE CHAIN OF ADDED VALUE CREATION BY THE AGRICULTURAL FOOD SECTOR 88

УДК 631.317
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-5-11

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА И РЕЖИМА РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФРЕЗЫ НА БОКОВОЙ ВЫНОС ПОЧВЫ

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Реферат. *Рассмотрен процесс взаимодействия L-образных наружу отогнутых ножей с почвой при ее обработке вертикальными фрезами. Для уменьшения энергоемкости процесса принято наклонять ось вращения ротора вперед по ходу агрегата, при этом наблюдается отброс почвы в сторону направления вращения ротора. Позитивным такой процесс является при работе на плантациях ягодных культур с наличием характерных почвенных валов вдоль оснований кустов. На выровненных поверхностях междурядий процесс негативный, поэтому выявляли его основные закономерности в поисках способа влияния на результат. Приведены результаты экспериментальных исследований, в которых оценивалась степень поперечного сдвига центра масс поперечного сечения обработанной полосы и ее зависимость от частоты вращения ротора. В качестве критерия оценки использовано расстояние между горизонтальными координатами центра масс поперечного сечения обработанной полосы до прохода фрезы и после него. Установлено, что с ростом частоты вращения ротора поперечный сдвиг центра масс обработанной полосы почвы увеличивается. Получена математическая модель процесса фонтанирования почвы. Его условием является превышение вертикальным ускорением элементарного массива почвы величины 168,5 с$^{-1}$. При этом под воздействием подрезающего лезвия ножа элементарный массив почвы скалывается под углом около 45^{0} и по инерции продолжает свое движение как тело, брошенное под углом к горизонту. Установлено, что при диаметре ротора 0,8 м критической с точки зрения фонтанирования почвы является частота вращения, превышающая 179 мин$^{-1}$. При частоте вращения ротора 140 мин$^{-1}$ расчетные значения величины поперечного сдвига почвы всего на 10% отличаются от экспериментальных результатов. Это свидетельствует об адекватности принятой модели взаимодействия ножа фрезы с почвой.*

Ключевые слова: *обработка почва, вертикальная фреза, наклон оси вращения, поперечный отброс почвы, критическая частота вращения ротора.*

INFLUENCE OF ROTOR PARAMETERS AND OPERATING MODE OF VERTICAL TILLAGE CUTTER ON SIDE DISCARD OF SOIL

[1]Ozherelev Viktor
[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"

Abstract. *The process of interaction of L-shaped outwardly bent knives with the soil during its processing with vertical mills is considered. It is customary to tilt the axis of rotation of the rotor forward along the course of the unit to reduce the energy consumption of the process, while the soil is thrown away in the direction of the rotor rotation. Such a process is positive when working on plantations of berry crops with the presence of characteristic soil shafts along the bases of the bushes. The process is negative on the leveled surfaces of the row spacings, therefore, its main patterns were identified in search of a way to influence the result. The results of experimental studies are presented, in which the degree of transverse shift of the center of mass of the cross-section of the processed strip and its dependence on the rotor speed were estimated. The distance between the horizontal coordinates of the center of mass of the cross-section of the processed strip before and after the cutter passage was used as an assessment criterion. It was found that with an increase in the rotor speed, the transverse shift of the center of mass of the treated strip of soil increases. A mathematical model of the soil flowing process is obtained. Its condition is that the vertical acceleration of the elementary soil mass exceeds the value of 168.5 s-1. At the same time, under the influence of the cutting blade of the knife, the elementary soil mass is chipped off at an angle of about 450 and by inertia continues its movement as a body thrown at an angle to the*

horizon. It has been established that with a rotor diameter of 0.8 m, the critical from the point of view of soil flowing is a rotation frequency exceeding 179 min-1. The calculated values of the transverse soil displacement at a rotor speed of 140 min-1 differ by only 10% from the experimental results. This testifies to the adequacy of the adopted model of interaction of the cutter blade with the soil.

Keywords: *tillage, vertical tillage cutter, tilt of the axis of rotation, lateral soil discard, critical rotor speed.*

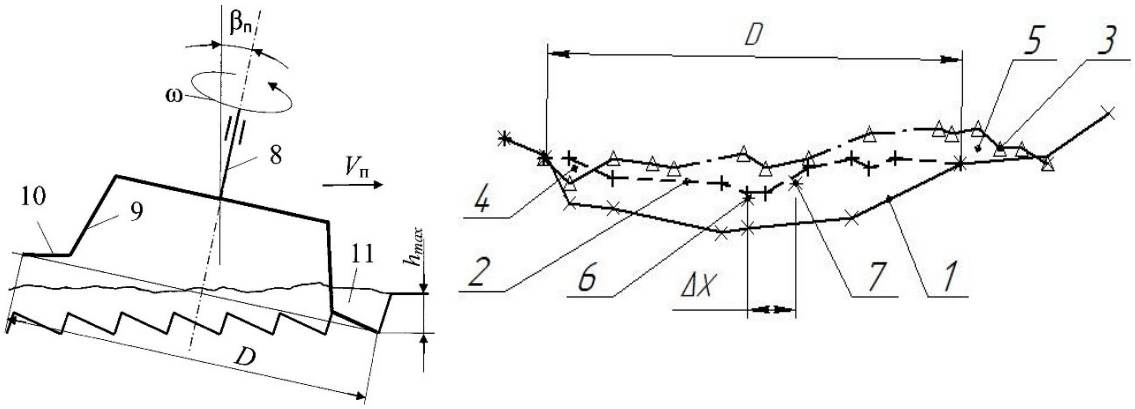
Введение. Ретроспектива практического использования вертикальных фрез свидетельствует о том, что в течение последних сорока лет для них сформировалась ниша в отечественном ягодоводстве [1, 2]. Отчасти это обусловлено тем, что вертикально-ротационные рабочие органы наиболее приспособлены к удалению почвенных валов, образующихся вдоль оснований кустов вследствие многолетней обработки междурядий ягодных кустарников дисковыми боронами [3, 4]. Кроме того, одновременно с обработкой почвы и удалением сорняков за счет ограничения ширины ряда при обработке осуществляется такая важная технологическая операция, как нормировка густоты стеблестоя малины [5, 6].

Следует иметь в виду, что на начальном этапе вертикально-ротационные машины рассматривались в качестве ротационных борон, применявшихся для подготовки почвы под посев [7, 8]. В таком же качестве они, как правило, используются во многих странах. Адаптация вертикально-ротационных машин к операциям ухода за многолетними культурами потребовала пересмотреть некоторые установившиеся представления об их конструкции и режимах работы. В частности, были предприняты попытки уменьшить энергоемкость процесса [9, 10]. С этой целью были испытаны несколько вариантов машин и типов их ножей. При этом наименее энергоемким оказался вариант снабжения ротора *L*-образными наружу отогнутыми ножами и наклоном оси его вращения вперед по ходу агрегата.

Как показали наши исследования, в отличие от использования машины в режиме ротационной бороны, когда предъявляются определенные требования к стабильности глубины обработки, при работе в прикустовой зоне многолетних насаждений такое условие не актуально. Более того, целесообразно, чтобы поперечный профиль дна борозды углублялся по мере удаления от основания куста, следуя за наклоном скелетных корней ягодных растений [11]. Такой характер поперечного профиля дна борозды обеспечивается наклоном вперед оси вращения ротора, что и было принято за основу при разработке агрегата по уходу за плантацией малины [12].

Как правило, конструктивное решение, улучшающее определенные параметры технического объекта, может вызвать побочные проблемы, которые нельзя игнорировать. Так, наклон вперед оси вращения ротора позволил практически в два раза уменьшить крутящий момент, необходимый для его привода [13, 14]. Однако при этом возникло характерное перераспределение части почвы в поперечной плоскости в сторону вращения ротора. При использовании машины для ликвидации прикустовых почвенных валов указанное явление является позитивным. Если же работать на вновь заложенной плантации с выровненным поперечным профилем поверхности междурядья, то эффект следует оценить, как негативный. Для того, чтобы осознанно управлять поперечным переносом почвы ротором фрезы целесообразно установить закономерности, характерные для указанного процесса и выявить связь между степенью переноса и конструктивно-кинематическими параметрами машины.

Материалы и методы. Объектом исследования является вертикально-ротационный рабочий орган, ось вращения 8 которого установлена под углом $\beta_п$ к вертикали (рисунок 1а). Ротор снабжен *L*-образными наружу отогнутыми ножами (стойка 9 и подрезающее лезвие 10). Предметом исследования является процесс взаимодействия ножа, особенно его подрезающего лезвия 10 с почвой. Цель исследования заключается в выявлении связи между параметрами процесса и степенью поперечного переноса почвы. Поскольку после обработки полосы почвы шириной, равной диаметру ротора *D* (рисунок 1б) происходит ее частичный перенос в сторону направления вращения ротора, то оценить степень этого поперечного сдвига обработанного пласта наиболее корректно по величине ΔX, характеризующей расстояние по горизонтали между центром тяжести 6 исходного (необработанного) поперечного сечения и его новым положением 7 после разрыхления.



а) – принципиальная схема ротора б) – поперечный профиль обработанной полосы почвы

1 – дно борозды; 2 – поверхность до обработки; 3 – поверхность после обработки; 4 – зона изъятия почвы; 5 – зона отложения почвы; 6, 7 – центр масс поперечного профиля до обработки и после нее, соответственно; 8 – ось вращения ротора; 9 – стойка *L*-образного наружу отогнутого ножа; 10 – подрезающее лезвие ножа; 11 – полоса обработанной почвы

Рисунок 1 – Продольный и поперечный профили полосы почвы, обработанной ротором с наклоном вперед оси его вращения на угол $\beta_п$:

Опыт проводился следующим образом. На поверхности междурядья смородины случайным образом выбирался выровненный участок длиной 10 – 12 метров, на котором устанавливали штыри с горизонтальными полками для укладки на них в поперечном направлении мерной линейки длиной три метра. Ее выравнивали по уровню и через каждые 50 мм измеряли расстояние до поверхности необработанной почвы. В результате получали исходный поперечный профиль 2 поверхности междурядья (рисунок 1б). Передача, на которой перемещался трактор, и передаточное отношение привода фрезы были подобраны так, чтобы подача на один нож (в направлении $V_п$) соответствовала ширине захвата подрезающего лезвия 10 (рисунок 1а). Частота вращения ротора *n* имела три уровня варьирования – 100, 120 и 140 мин$^{-1}$. После прохода агрегата мерную линейку возвращали в исходное положение, после чего замеряли параметры сначала обработанной поверхности 3, а затем (после удаления разрыхленной почвы) – дна борозды 1 (рисунок 1б).

Опыты проводили на тяжелой суглинистой почве, влажность которой варьировалась от 15 до 30 %, а твердость – от 1,8 до 2 МПа. Экспериментальная установка имела следующие параметры. Диаметр *D* ротора по концам ножей – 0,8 м, глубина обработки h_{max} – 0,12 м и угол наклона оси вращения $\beta_п$ – 17^0. Ширина захвата подрезающего лезвия 10 составляла 0,11 м. На каждом уровне варьирования независимой переменной *n* опыт был проведен в десятикратной повторности. Результаты обработаны в программе Excel.

Результаты и их обсуждение. При обработке полосы почвы шириной *D* продольный профиль дна борозды в зоне максимальной глубины h_{max} приобретает ярко выраженную гребнистость (рисунок 1а). При этом часть поверхности раздела между монолитом и стружкой 11 образуется в результате подрезания горизонтальным лезвием 10 *L*- образного наружу отогнутого ножа, тогда как ее большая часть формируется вследствие скола почвы под углом по направлению к поверхности.

Поперечный профиль дна борозды имеет форму, близкую к дугообразной (рисунок 1б). При этом центр масс поперечного сечения вследствие воздействия на почву *L*-образных наружу отогнутых ножей смещается в сторону вращения ротора на величину ΔX. Обработка результатов опытов позволила получить численное значение величины поперечного смещения профиля и ее зависимость от частоты вращения ротора (рисунок 2).

В принципе, результат ожидаемый. При увеличении частоты вращения ротора величина поперечного смещения центра масс поперечного сечения обработанной полосы почвы возрастает.

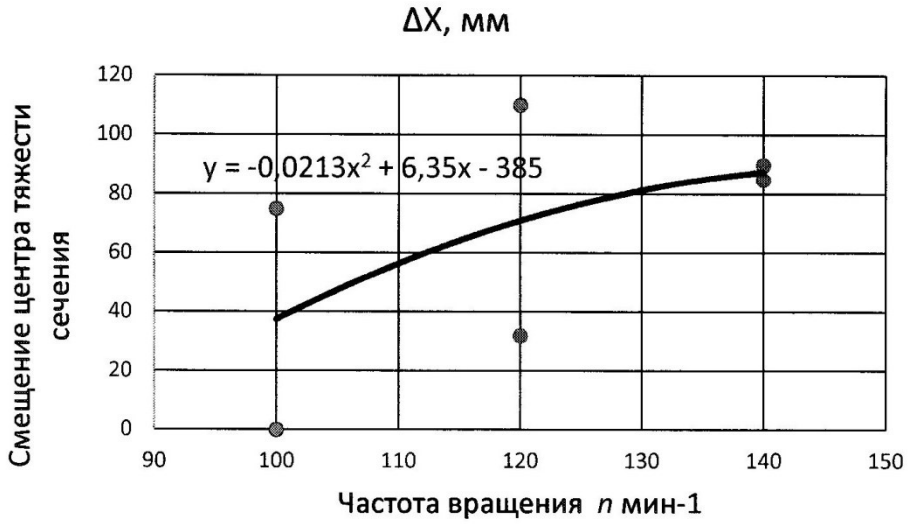


Рисунок 2 – Зависимость величины поперечного смещения центра масс поперечного профиля полосы почвы, обработанной вертикальной фрезой с наклоном оси вращения ротора вперед по ходу движения агрегата на угол 17^0

Это обусловлено тем, что рост частоты вращения увеличивает импульс кинетической энергии, передаваемый ножами частицам почвы. Что касается характера зависимости, то существенной разницы между линейным и полиномиальным трендами не установлено. В дальнейшем имеет смысл выполнить уточняющие исследования с соответствующим целевым планированием экспериментов.

Заметный резерв в процессе совершенствования почвообрабатывающих машин выявляется в результате углубления представлений о характере взаимодействия рабочих органов с почвой. Это относится и к рассматриваемому случаю вертикальной фрезы. Процесс этот достаточно сложный, поэтому рассмотрим его упрощенную модель, введя ряд приемлемых в таком случае упрощений и допущений (рисунок 3).

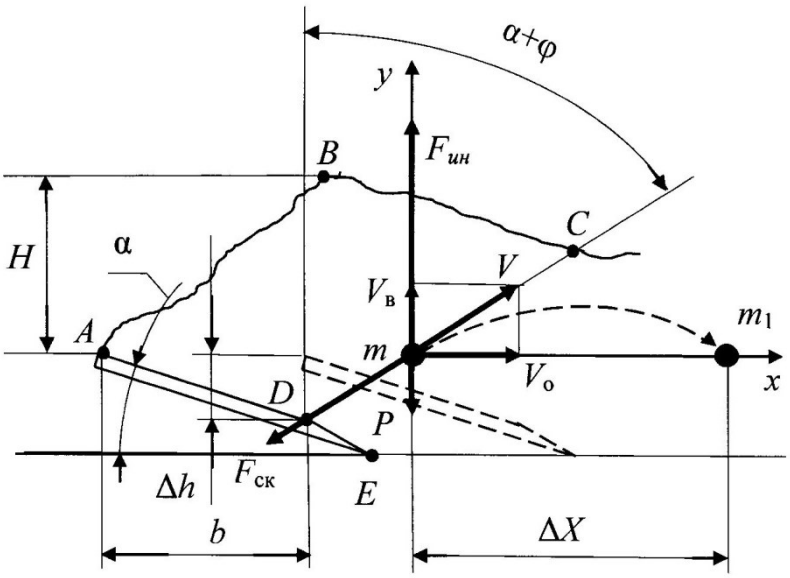


Рисунок 3 – Схема взаимодействия подрезающего лезвия *L*-образного наружу отогнутого ножа фрезы с почвой

Будем считать, что от точки *E* до точки *D* происходит смятие почвы, которое, вследствие скоротечности процесса, не успевает передаться ее основному массиву. При перемещении от точки *D* до точки *A* происходит передача импульса элементарному почвенному массиву с поперечным сечением *ABCD*, которое можно условно принять за параллелограмм. Поскольку при взаимодействии с лезвием 10 массив *ABCD* поднимается на величину Δh, приобретая вертикальную скорость $V_в$, то условие динамического равновесия в проекции на вертикальную ось *y*, приведенную к плоскости скола *CD*, можно выразить следующим образом

$$m\frac{d^2h}{dt^2} = P + F_{ск} \cdot \cos(\alpha + \varphi) \tag{1}$$

где *m* – масса элементарного массива почвы, кг; $P = mg$ – вес почвенного массива, Н; $F_{ск}$ – сила сопротивления скалыванию массива по направлению *CD*, Н; α+φ – фактический угол скола, полученный по результатам замеров продольного профиля, (принимаем равным 45^0).

Таким образом, для гарантированного начала процесса фонтанирования почвы запаса кинетической энергии, сообщенной ее элементарному массиву, должно быть достаточно как для преодоления силы тяжести, так и вертикальной составляющей силы сопротивления почвы скалыванию ($F_{ск}$). Для упрощения ситуации и перехода к численным методам расчета примем, что толщина элементарного массива почвы (в поперечном плоскости рисунка направлении) единичная. Тогда указанную силу можно выразить через массу, объективные характеристики почвы и лезвия ножа следующим образом

$$F_{ск} = \frac{H \cdot \tau}{\cos(\alpha + \varphi)} = \frac{m \cdot \tau}{b \cdot \rho \cdot \cos(\alpha + \varphi)} \tag{2}$$

где $H = h_{max}$ – максимальная величина заглубления подрезающего лезвия ножа; τ = 10 кПа – предел прочности почвы на скалывание (касательные напряжения); *b* = 0,036 м – ширина активной части подрезающего лезвия ножа; ρ = 1800 кг/м^3 – удельная масса почвы.

После подстановки выражения (2) в (1) условие фонтанирования почвы принимает следующий вид

$$a_ф = g + \frac{\tau}{b \cdot \rho} \tag{3}$$

При принятых значениях исходных параметров $a_ф$ = 168,5 с$^{-1}$. Если принять равномерное нарастание скорости движения элементарного массива почвы с постоянным ускорением, то окружная скорость рассматриваемого сечения подрезающего лезвия, при которой фонтанирование почвы неизбежно, определяется формулой

$$V_ф = \sqrt{\frac{a_ф \cdot b}{tg\alpha}} = 7{,}5\, м/с \tag{4}$$

где α = 6^0 – минимальное значение угла наклона поперечного сечения подрезающего лезвия ножа к горизонту.

Если указанные параметры относятся к наиболее удаленной точке ротора, то фонтанирование почвы неизбежно при частоте его вращения $n_ф$ > 179 мин$^{-1}$. При варьировании в наших опытах частоты вращения ротора в пределах 100 – 140 мин$^{-1}$ процесс взаимодействия ножей с почвой только приближался к критическому. Тем не менее, и в этом случае поперечный перенос почвы неизбежен, хотя и в значительно меньшей степени.

Это обусловлено тем, что в результате перемещения по лезвию из точки *D* в точку *A* и подъема в связи с этим на высоту Δh, элементарный массив почвы неизбежно приобретает вертикальную скорость $V_в$. При принятой в опытах максимальной частоте вращения ротора, равной 140 мин$^{-1}$, и окружной скорости подрезающего лезвия ножа V_0 = 5,86 м/с, $V_в$ = 0,615 м/с. Поскольку инерция вертикального движения не может погаситься мгновенно, то дальнейшее

перемещение элементарного массива почвы возможно только вдоль линии скола *CD* (рисунок 3), в связи с чем будет корректно считать, что он переместился из точки *m* в точку m_1 на расстояние ΔX, как тело, брошенное под углом 45^0 к горизонту. Тогда величина горизонтального перемещения может быть найдена следующим образом

$$\Delta X = \frac{2V_в^2}{g} = 0{,}077м \quad .$$

Заключение. Сопоставление расчетной величины поперечного смещения элементарного массива почвы под действием ножей ротора, вращающегося вокруг оси, наклоненной на угол $\beta_п = 17^0$, с экспериментальными данными свидетельствует о том, что разница находится на уровне 10 %. С учетом степени варьирования внешних условий (твердости, влажности и засоренности почвы), можно считать, что указанные различия не существенны и принятая теоретическая гипотеза взаимодействия ножа фрезы с почвой удовлетворительно объясняет характер процесса.

Список литературы

1. Блохин В.Н. Исследование процесса и рабочего органа для ухода за межкустовой зоной на ягодниках: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – М. – 1993. – 22 с.

2. А.с. № 1724040 СССР, МКИ A01B 59/04, A01D 46/28. Агрегат для ухода за высокостебельными культурами / Блохин В.Н., Ожерельев В.Н., Цымбал А.А. - № 4654677/30 – 15; заявл. 24.02.89; опубл. 07.04.92, Бюл. № 13. – 4 с.

3. Бартенев В.Д., С.Н. Хабаров. Комплексная механизация возделывания насаждений ягодников и облепихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 7 (81). – С. 96 – 98.

4. Никитин, В.В. Улучшение качества обработки междурядий ягодных кустарников в условиях суглинистых почв повышенной влажности путем совершенствования конструктивно-режимных параметров дисковой бороны: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Брянск. – 2009. – 165 с.

5. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: дисс. … докт. с.-х. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Брянск. – 2001. – 312 с.

6. Ожерельева М.В. Совершенствование технологии возделывания малины в условиях средней полосы России: дисс. … канд. с.-х. наук: 06.01.07 – Защита растений. – Брянск. – 2001. – 145 с.

7. Бычков В.В. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров вертикально-ротационных рабочих органов для обработки тяжелых почв: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – М. – 1982. – 158 с.

8. Инаекян С.А. Механико-технологическое обоснование параметров вертикально-ротационной почвообрабатывающей машины: дис. … канд. техн. наук: 05.06.01 – Науки о земле. – М. – 1982. – 195 с.

9. Мостовский В.Б. Исследование процесса обработки приствольных полос в интенсивных садах вертикальными фрезами и обоснование типов и параметров их рабочих органов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Киев. – 1980. – 22 с.

10. Чудак С.В. Исследование фрезы с вертикальным валом вращения // Механизация работ в виноградарстве и садоводстве. – Кишинев. – 1979. – С. 159 – 174.

11. Ярославцев Е.И. Малина. – М.: Колос. – 1979. – 159 с.

12. Патент РФ № 2466521 МПК^7 A01B 39/16, 33/06. Ротационное почвообрабатывающее орудие / В.Н. Ожерельев, Н.В. Ожерельева, М.В. Ожерельева – Опубл. 20.11.12, Бюл. №32.

13. Ожерельев В.Н. Исследование и конструирование фрезерных машин: монография – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ. – 2019. – 196 с.

14. Ожерельев В.Н. Обоснование способа выглубления рабочих органов вертикально-фрезерного культиватора // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 3. – С. 53 – 54.

References

1. Blohin V.N. Issledovanie processa i rabochego organa dlja uhoda za mezhkustovoj zonoj na jagodnikah: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – M. – 1993. – 22 s.

2. A.s. № 1724040 SSSR, MKI A01B 59/04, A01D 46/28. Agregat dlja uhoda za vysokostebel'nymi kul'turami / Blohin V.N., Ozherel'ev V.N., Cymbal A.A. - № 4654677/30 – 15; zajavl. 24.02.89; opubl. 07.04.92, Bjul. № 13. – 4 s.

3. Bartenev V.D., S.N. Habarov. Kompleksnaja mehanizacija vozdelyvanija nasazhdenij jagodnikov i oblepihi // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 7 (81). – S. 96 – 98.

4. Nikitin, V.V. Uluchshenie kachestva obrabotki mezhdurjadij jagodnyh kustarnikov v uslovijah suglinistyh pochv povyshennoj vlazhnosti putem sovershenstvovanija konstruktivno-rezhimnyh parametrov diskovoj borony: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Brjansk. – 2009. – 165 s.

5. Ozherel'ev V.N. Tehnologicheskie processy i sredstva mehanizacii proizvodstva jagod maliny: diss. … dokt. s.-h. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Brjansk. – 2001. – 312 s.

6. Ozherel'eva M.V. Sovershenstvovanie tehnologii vozdelyvanija maliny v uslovijah srednej polosy Rossii: diss. … kand. s.-h. nauk: 06.01.07 – Zashhita rastenij. – Brjansk. – 2001. – 145 s.

7. Bychkov V.V. Jeksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie parametrov vertikal'no-rotacionnyh rabochih organov dlja obrabotki tjazhelyh pochv: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – M. – 1982. – 158 s.

8. Inaekjan S.A. Mehaniko-tehnologicheskoe obosnovanie parametrov vertikal'no-rotacionnoj pochvoobrabatyvajushhej mashiny: dis. … kand. tehn. nauk: 05.06.01 – Nauki o zemle. – M. – 1982. – 195 s.

9. Mostovskij V.B. Issledovanie processa obrabotki pristvol'nyh polos v intensivnyh sadah vertikal'nymi frezami i obosnovanie tipov i parametrov ih rabochih organov: avtoref. dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Kiev. – 1980. – 22 s.

10. Chudak S.V. Issledovanie frezy s vertikal'nym valom vrashhenija // Mehanizacija rabot v vinogradarstve i sadovodstve. – Kishinev. – 1979. – S. 159 – 174.

11. Jaroslavcev E.I. Malina. – M.: Kolos. – 1979. – 159 s.

12. Patent RF № 2466521 MPK7 A01B 39/16, 33/06. Rotacionnoe pochvoobrabatyvajushhee orudie / V.N. Ozherel'ev, N.V. Ozherel'eva, M.V. Ozherel'eva – Opubl. 20.11.12, Bjul. №32.

13. Ozherel'ev V.N. Issledovanie i konstruirovanie frezernyh mashin: monografija – Brjansk: Izd-vo Brjanskij GAU. – 2019. – 196 s.

14. Ozherel'ev V.N. Obosnovanie sposoba vyglublenija rabochih organov vertikal'no-frezernogo kul'tivatora // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 1987. – № 3. – S. 53 – 54.

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, г. Брянск, e-mail: vicoz@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Поступила в редакцию (Received): 28.12.2020 Принята к публикации (Accepted): 09.02.2021

УДК 631.333.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-12-22

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Коротков Илья Владимирович
[1]Ветров Иван Юрьевич
[1]Секретарев Александр Петрович
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *Для растениеводческих сельскохозяйственных предприятий внесение гранулированных удобрений – наиболее удобный способ обогащения почвы элементами питания. Рассмотрены конструкции разбрасывателей удобрений для поверхностного основного внесения и подкормок. Произведён анализ конструкций распределителей отечественного и импортного производства, выявлены преимущества и недостатки рассеивающих рабочих органов, применяемых в настоящее время. Запросы как крупных агрохолдингов, так и небольших крестьянских (фермерских) хозяйств находят ответ в виде машин прицепного или навесного варианта исполнения. Для небольших сельскохозяйственных предприятий наиболее удобен навесной вариант конструкции. Отмечено, что при неравномерности распределения, равной 20 %, потери урожая зерновых культур составляют 0,6 – 11,5 %. Одним из наиболее перспективных вариантов повышения производительности разбрасывателей гранулированных удобрений является использование объёмных бункеров. Многие современные исследования по разработке конструкций дисковых разбрасывателей минеральных удобрений направлены и на обеспечение сохранности гранул. Решающими факторами, влияющими на выбор типа разбрасывателя, для сельхозтоваропроизводителей являются такие как площадь полей, расстояние от склада удобрений до рабочих участков, особенности технологии внесения, а также объём вносимых удобрений. Указаны перспективы развития машин для внесения удобрений в том числе с учётом разработок ФГБОУ ВО «Курская ГСХА». Определены направления дальнейших разработок в сфере совершенствования конструкций распределителей и устранения существующих недостатков.*

Ключевые слова: *разбрасыватели, распределители, удобрения, навесной разбрасыватель, прицепной разбрасыватель, центробежный диск, ротор.*

ANALYSIS OF STRUCTURES OF WORKING BODIES OF GRANULATED FERTILIZER SPREADERS

[1]Schwartz Anatoly
[1]Schwartz Sergey
[1]Korotkov Ilya
[1]Vetrov Ivan
[1]Secretary Alexander
[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. *The introduction of granular fertilizers is the most convenient way of enriching the soil with nutrients for plant growing agricultural enterprises. The design of fertilizer spreaders for surface main application and top dressing is considered. The analysis of the designs of distributors of domestic and foreign production is carried out, the advantages and disadvantages of the scattering working bodies used at present are revealed. The requests of both large agricultural holdings and small peasant (farmer) farms are answered in the form of trailed or mounted machines. The hinged design is most convenient for small agricultural enterprises. It is noted that with an uneven distribution equal to 20 %, the loss of grain yield is 0,6 – 11,5 %. One of the most promising options for increasing the performance of granular fertilizer spreaders is the use of volumetric hoppers. Many modern studies on the development of designs*

of disc spreaders for mineral fertilizers are also aimed at ensuring the safety of granules. The decisive factors influencing the choice of the type of spreader for agricultural producers are such as the area of the fields, the distance from the fertilizer warehouse to the working areas, the features of the application technology, as well as the amount of fertilizer applied. Prospects for the development of machines for applying fertilizers, including taking into account the developments of the Kursk State Agricultural Academy, are indicated. The directions of further developments in the field of improving the designs of distributors and eliminating existing shortcomings have been determined.

Keywords: *spreaders, distributors, fertilizers, mounted spreader, trailer spreader, centrifugal disk, rotor.*

Введение. Практика растениеводческих предприятий, а также современные научные исследования в области сельского хозяйства показывают, что для получения больших урожаев высокого качества необходимо своевременно обеспечивать растения необходимыми питательными веществами.

Согласно принципам агротехники, наиболее важным приёмом в вегетации растений с точки зрения внесения удобрений считается основное внесение. Во время основного внесения удобрений органические и минеральные удобрения распределяют по поверхности поля, и сразу же заделывают в почву почвообрабатывающими машинами. Операция выполняется до посева - для обеспечения растений питанием в течение всего периода вегетации. В этот период вносится 65 – 75 % от общей нормы удобрений [1].

От объёмов удобрений, расстояния до полей предприятия и способов их внесения в почву зависит выбор технологии внесения удобрений. В практике сельхозтоваропроизводителей имеют место прямоточная, перегрузочная и перевалочная технологии.

Прямоточная технология предполагает загрузку удобрений в разбрасыватель на складе и дальнейшую транспортировку на поле в самой машине для рассева удобрений. Такая схема считается целесообразной при небольшом (до 5 км) расстоянии от склада до поля, и грузоподъёмности машин более 4 тонн.

При перегрузочной технологии удобрения со склада вывозятся транспортными средствами, из которых впоследствии рабочий материал перегружается в машины для внесения удобрений. Этот вариант удобен при дальности перевозки более 5 км и грузоподъёмности машин свыше 4 тонн.

Перевалочной называется технология, при которой удобрения, доставленные со склада транспортными средствами, перегружают в стационарное полевое хранилище или другую ёмкость, из которой загружаются распределители удобрений. Это позволяет применять удобрения на больших расстояниях от склада при использовании любых средств для внесения.

До сева вносятся органические удобрения, а также значительная часть общего количества минеральных удобрений. Современные технологии позволяют оба вида удобрений производить в наиболее удобной для хранения и транспортировки гранулированной форме [2]. Основное внесение производят осенью, либо весной. Сроки внесения зависят от почвенно-климатических условий района возделывания и особенностей применяемого удобрения. При условиях достаточного и избыточного увлажнения под вспашку зяби не вносят азотные удобрения, их применяют весной под предпосевную культивацию и в подкормку. Фосфорно-калийные удобрения во всех лесостепных районах более предпочтительно вносить под вспашку [3].

Сельхозтоваропроизводители часто применяют и припосевное внесение удобрений. Питательные вещества в этом случае вносятся в почву одновременно с посадкой или посевом сельскохозяйственных культур специальными посевными машинами с туковысевающими аппаратами [4, 5].

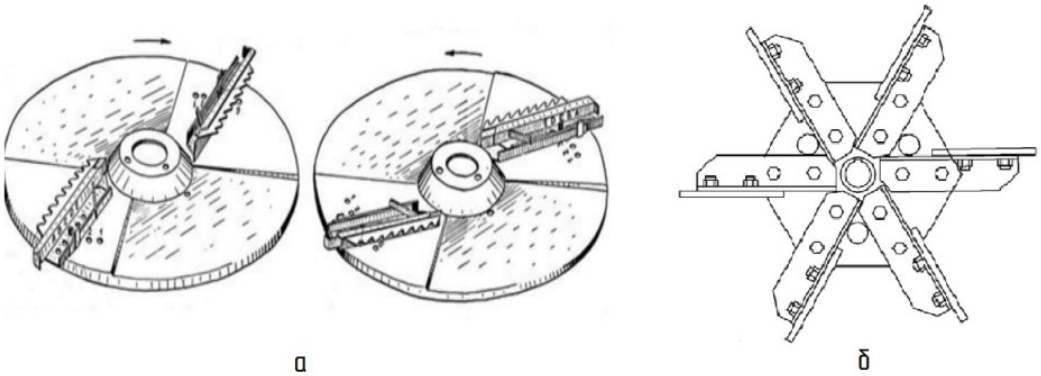
В период вегетации растений применяется подкормка: этот приём агротехники предназначен для усиления питания растений во время максимального использования растениями элементов питания.

Различают корневую и некорневую подкормки. При корневой подкормке элементы питания усваиваются посредством поглощения их корневой системой. Корневая подкормка может проводиться внутрипочвенно и поверхностно. Внутрипочвенная корневая подкормка осуществляется путём заделки удобрений в слой почвы, доступный корням растения. Поверхностная корневая подкормка обычно применяется для зерновых культур и проводится путём распределения удобрений по поверхности почвы разбрасывателями [3, 4].

Некорневая подкормка - способ внесения удобрений, при котором питательные вещества поглощаются растениями через листья. Обычно некорневые подкормки производят путём опрыскивания [3].

При основном внесении и при корневой подкормке применяют разбросной способ внесения. Удобрения при таком способе распределяются сплошным слоем по всей поверхности поля [4].

Материалы и методы. В роли предметов исследования рассмотрим конструкции различных применяемых в настоящее время устройств для распределения удобрений в форме гранул. Для поверхностного внесения гранулированных минеральных, органических и органоминеральных удобрений применяются прицепные и навесные машины с аппаратами броскового типа. Распределяющие органы таких разбрасывателей выполнены в виде вертикальных или горизонтальных бросковых аппаратов (рисунок 1). К сожалению, конструкции таких машин часто далеки от совершенства, что приводит к неравномерному распределению удобрений на поверхности поля.



а – с вертикальной осью вращения; б – с горизонтальной осью вращения

Рисунок 1 – Рабочие органы для поверхностного внесения удобрений

Неравномерное распределение удобрений приводит к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур. Уровень потерь от неравномерности распределения удобрений расценивается неодинаково. Есть данные, что неравномерность в 20 – 25% даёт потери урожая около 1 – 2 %. В разных случаях при неравномерности 20 % потери урожая зерновых культур составляли 0,6 – 11,5 %, а при неравномерности 30 % потери возрастали до 17,5 % [6].

В настоящее время для сельхозтоваропроизводителей имеет место большой выбор технических средств для поверхностного распределения гранулированных удобрений. Запросы как крупных агрохолдингов, так и небольших крестьянских (фермерских) хозяйств находят ответ в виде машин прицепного или навесного варианта исполнения.

Для небольших сельскохозяйственных предприятий наиболее удобным считается навесной вариант конструкции. Существуют машины такого типа, вмещающие от 0,25 т. до 4,00 т. удобрений. Малые разбрасыватели крепятся на навеску трактора, в то время как для аргегатирования машин повышенной грузоподъёмности с тракторами малой мощности выпускаются двухколёсные шасси, на которые устанавливаются навесные разбрасыватели (рисунок 2). Шины колёсного хода таких шасси имеют увеличенную ширину и уменьшенный наружный диаметр, что позволяет снизить высоту погрузки.

Для примера рассмотрим конструкцию распределителя AMAZONE ZA-M. Навесные разбрасыватели удобрений AMAZONE ZA-M выпускаются в 17 различных модификациях вместимостью от 1200 до 3000 литров. Для использования с тракторами малой мощности возможно использование фирменных шасси. Двухдисковый распределитель AMAZONE ZA-M имеет довольно простую конструкцию. Агрегаты этой серии оснащаются бункерами глубокой вытяжки без углов и сварных швов, что гарантирует соскальзывание удобрений. Механизм распределения представляет собой два горизонтальных диска с подающими на них удобрения дозатором и питателем [7].

а – AMAZONE ZA-M 1500 производства компании “AMAZONE”, Германия

б – РУ-3000 производства «БобруйскАгроМаш», Беларусь

в – UNIA MXL 3000 производства “UNIA”, Польша

Рисунок 2 – Навесные разбрасыватели удобрений на шасси:

Удобрения посредством ворошильного вала поступают из бункера на диски. За счёт вращения распределяющих дисков с частотой 720 мин$^{-1}$ гранулированные удобрения по лопастям выводятся наружу. Конструкция дисков позволяет распределять удобрения на ширину от 10 до 36 метров.

К недостаткам разбрасывателей с такими рабочими органами относят высокую стоимость машин у ведущих производителей и значительную неравномерность распределения удобрений у аналогов.

Многие современные исследования по разработке конструкций дисковых разбрасывателей минеральных удобрений направлены и на обеспечение сохранности гранул [8 – 10].

Маятниковые разбрасыватели удобрений (рисунок 3) также предназначены для поверхностного внесения гранулированных удобрений, но имеют другую конструкцию рабочих органов. Разброс удобрений машинами такой конструкции производится при помощи качающейся в горизонтальной плоскости трубы, что обеспечивает более равномерное разбрасывание удобрений в сравнении с дисковыми разбрасывателями, а также предусматривает возможность внесения удобрений в два ряда.

а – Magnum 750 производства компании “Gamberini”

б – Eurospand PXT 490 производства компании “Eurospand”

Рисунок 3 – Маятниковые распределители удобрений

Ширина захвата у таких распределителей регулируется изменением местоположения упора качающейся трубы, приводимой в движение от ВОМ трактора. К минусам таких распределителей относят невысокую рабочую скорость (до 10 км/ч), небольшую вместимость бункера. Отклонение от номинального числа оборотов ВОМ негативно влияет на равномерность разброса удобрений. Маятниковые разбрасыватели более шумные при эксплуатации, чем распределители с центробежными дисками. Этот тип машин не находит популярность у большинства сельхозпроизводителей ввиду низкой производительности при высокой стоимости. Таким агрегатам присущи и другие недостатки, идентичные недостаткам центробежных дисковых распределителей [10 – 12].

Одним из наиболее перспективных вариантов повышения производительности разбрасывателей гранулированных удобрений является использование объёмных бункеров. Чем больше ёмкость бункера, тем меньше остановок для дозагрузки придётся выполнять в течение смены. Большую вместимость бункера относительно представленных выше навесных распределителей имеют прицепные машины для внесения удобрений. Такие агрегаты хорошо распределяют удобрения при минимальных показателях давления.

Распределители удобрений прицепной конструкции ввиду наличия объёмных бункеров, удобства применения на больших площадях и повышенного расхода топлива обычно находят отклик у наиболее крупных сельскохозяйственных компаний. Решающими факторами, влияющими на выбор типа разбрасывателя, для сельхозтоваропроизводителей являются такие как площадь полей, расстояние от склада удобрений до рабочих участков, особенности технологии внесения, а также объём вносимых удобрений.

Прицепные машины для внесения удобрений обычно состоят из кузова с расположенным в нём транспортёром, приводного механизма, дозатора и распределяющих рабочих органов. Именно машины прицепного типа считаются наиболее распространёнными в сельскохозяйственном производстве вследствие того, что обладают большой грузоподъёмностью и высокими показателями производительности. Однако точность внесения удобрений зачастую оставляет желать лучшего.

В настоящее время российские производители сельскохозяйственной техники сохраняют выпуск машин для внесения удобрений советской разработки. В частности, ОАО "Давыдовсельмаш" Московской области производит машины для поверхностного внесения удобрений МВУ-6, МВУ-8, МВУ-12 [9]. Разбрасыватели МВУ-6 (рисунок 4) предназначены для транспортировки и поверхностного внесения гранулированных удобрений и слабопылящих известковых материалов.

Машина представляет собой полуприцеп, на раме которого смонтированы кузов, рассеивающий аппарат, туконаправитель, механизмы передачи. Кузов сочетает в себе наклонные борта и плоское дно, по которому перемещается верхняя ветвь цепочно-планчатого транспортёра. Транспортёр смонтирован на звёздочки ведущего и ролики ведомого валов и приводится в движение от ходового колеса цепной передачей или от ВОМ трактора через редуктор трансмиссии и цепной привод. Выбор варианта привода зависит от дозы удобрений.

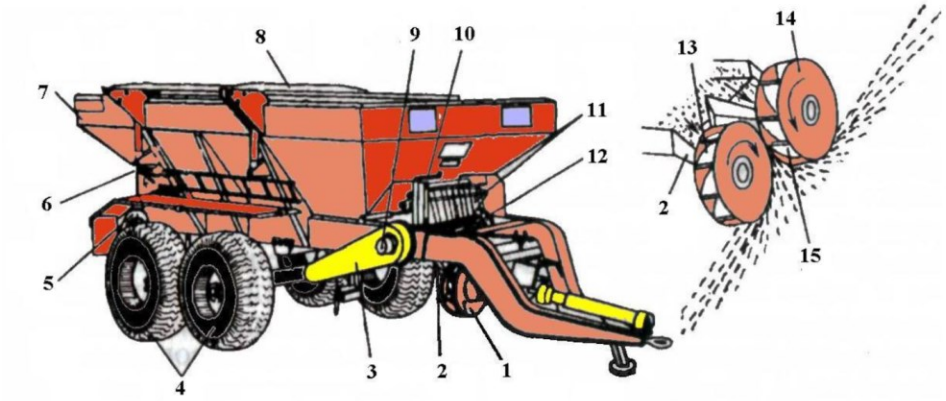
Рисунок 4 – Машина для внесения минеральных удобрений и извести МВУ-6

Машина СТТ-10 (рисунок 5), выпускаемая Тернопольским комбайновым заводом, распределяет удобрения посредством двух роторов, вращающихся вокруг горизонтальной оси [10]. Роторы выполнены в виде вентиляторных колёс, состоят из дисков, колец и трёх видов лопаток различной длины. Роторы вращаются с частотой 810 мин$^{-1}$. Разница длины лопаток не случайна: четыре длинных лопатки засевают полосу рассева, удалённую от ротора, две короткие лопатки засевают полосу вблизи ротора, а полосу под машиной засевают лопатки, расположенные на наружной части кольца ротора. Машина применяется для внесения гранулированных удобрений, перевозки удобрений и других сыпучих грузов с возможной разгрузкой через окно в задней стенке.

Для обеспечения высева заданной дозы гранулированных удобрений сначала определяется степень открытия дозирующей щели, потом подвижные упоры дозатора устанавливают на необходимые деления. Механизатор включает ВОМ и рычаг гидроуправления дозирующей заслонки. Происходит автоматическая установка заданной дозы удобрений, а также включение муфты привода транспортёра, который, в свою очередь подаёт удобрения через туконаправитель

на внутренние и наружные лопатки роторов. Ротор за счёт вращения вокруг горизонтальной оси лопатками распределяет удобрения по рабочей ширине захвата (10-15 м).

Из-за сложности обслуживания, а также трудности обеспечения равномерности рассева удобрений распределитель СТТ-10 не нашёл массового потребителя. Тернопольский комбайновый завод, который производил эту машину, в 1990-е годы прекратил её выпуск, а в 2012 году прекратил своё существование.



1 – распределяющее устройство; 2 – туконаправители; 3 – механизм подачи на вал транспортёра; 4 – ходовая система; 5 – задний вал; 6, 11 – заслонки дозирующие; 7 – кузов; 8 – откидная сетка; 9 – передний вал транспортёра; 10 – регулятор высева; 12 – транспортёр; 13, 14 – роторы; 15 – лопатка ротора

Рисунок 5 – Машина для внесения удобрений СТТ-10

Разработка машин для внесения удобрений с одно- и двухбарабанными конструкциями рабочих органов на горизонтальных осях вращения не находит отклика среди других серийных образцов распределителей. Однако исследования показывают, что совершенствование таких машин является перспективным направлением развития технических средств для внесения удобрений. Например, в экспериментальном образце, разработанном ФГБОУ ВО "Курская ГСХА" предусмотрено использование дефлекторов, устраняющих веерное распределение потока удобрений и обеспечивающих более равномерное распределение рассеиваемого материала в полосе рассева [11, 12, 13].

Среди стран бывшего СССР производство и разработку новых машин для внесения удобрений осуществляет ОАО «Бобруйскагромаш» Республики Беларусь [14]. В числе прочих машин для внесения удобрений предприятие производит машины РУ-7000 (рисунок 6).

Рисунок 6 – Распределитель удобрений РУ-7000

Распределитель минеральных удобрений РУ-7000 предназначается для транспортировки и поверхностного внесения твёрдых удобрений кристаллической или гранулированной формы, извести, а также химических мелиорантов. На этой машине возможен привод подающего транспортера как от колёс машины, так и от ВОМ трактора, возможен гидравлический привод подающего транспортёра от гидросистемы трактора. Устройство машины РУ-7000 предполагает ручную настройку на вид вносимого материала и требуемую дозу внесения.

Привод распределяющих тарелок РУ-7000 осуществляется от ВОМ трактора. Контроль дозы внесения рабочего материала осуществляется бортовым компьютером.

Отечественные машины для поверхностного внесения гранулированных удобрений, к сожалению, в настоящее время сильно проигрывают зарубежным аналогам в вопросах равномерности распределения удобрений по поверхности поля. При работе без маркёров достижение неравномерности рассева около 15 – 25 %, которая предусмотрена агротехническими требованиями, труднодосягаемо. Такие значения неравномерности достигаются при испытаниях и правильном расчёте перекрытий проходов. Горизонтальные рабочие органы, применяемые на отечественных машинах, имеют существенный недостаток: при увеличении потока подаваемых удобрений часть материала не успевает достигнуть поверхности лопаток и ссыпается в непосредственной близости диска, не разогнавшись до нужной скорости. В результате, в ходе эксплуатации отечественных машин сельхозтоваропроизводители отмечают значительно более высокий уровень неравномерности.

На российском рынке имеет место большой спектр заграничных образцов техники для внесения удобрений. Большую популярность среди крупных агрохолдингов заслужили машины ведущих мировых брендов. Компания “AMAZONE” выпускает линейку разбрасывателей AMAZONE ZG-B (рисунок 7).

Рисунок 7 – AMAZONE ZG-B производства компании “AMAZONE”, Германия

Модельный ряд машин AMAZONE ZG-B представлен моделями ZG-B 5500 и ZG-B 8200, которые отличаются друг от друга объёмом бункера (5500 л и 8200 л соответственно) [10]. Ширина рассева у таких машин до 48 метров. В зависимости от комплектаций привод транспортёра возможен от ВОМ, от колеса, а также гидравлический с электронным управлением.

Высокая точность внесения и большая рабочую ширину захвата обеспечивается фирменными распределяющими дисками Omnia-Set OM. За счёт малой собственной массы машины достигается относительно высокая полезная нагрузка (5,9 – 9,8 т). Стенки бункера благодаря сильному уклону позволяют удобрениям равномерно поступать на ленточный транспортёр. Конструкция привода способствует сохранению заданной норме распределения при различной скорости движения, которая, в свою очередь, может увеличиваться, например, на склонах. Привод разбрасывающих тарелок посредством карданного вала даёт возможность им вращаться при отключенном ленточном транспортёре с помощью гидравлической переключающей муфты. Двойные заслонки позволяют выполнить одностороннее отключение разбрасывания.

В условиях пересечённого рельефа местности использование машин прицепной конструкции с центробежными разбрасывающими рабочими органами вызывает трудности ввиду того, что требования почвозащитного земледелия допускают движение агрегата только поперёк склона.

Таким образом, материал в бункере скатывается к тому или иному борту, что может привести к неравномерности разброса удобрений по ширине. Этот недостаток учтён в конструкции образца распределителя, разработанного ФГБОУ ВО «Курская ГСХА» [13].

Компания “Sulky-Burel” производит две линейки прицепных распределителей удобрений с разными механизмами распределения [15]: с рабочими органами в форме дисков, а также со штанговым вариантом конструкции распределителей (рисунок 8).

Рисунок 8 – Машина для поверхностного внесения удобрений Sulky Polyvrac XT160H

Модельный ряд машин Sulky Polyvrac XT представлен вариантами XT 100, XT 130 и XT 160 ёмкостью бункера 7200 л, 9500 л и 13000 л соответственно и рабочей шириной захвата до 18 – 50 метров. Необходимая мощность на привод ВОМ 100, 110 и 140 л.с. соответственно. Машина не сложно перенастраивается для внесения пылевидных и гранулированных удобрений. Для внесения удобрений на машины Sulky Polyvrac XT160 устанавливаются двухлопастные диски. Подача удобрений к дискам осуществляется посредством ленточного транспортёра, привод которого производится через зубчатую передачу.

Отличительная особенность линейки штанговых машин - наличие шнековых рабочих органов, приводимых в движение гидромоторами. Конструкция штанг позволяет регулировать рабочую ширину захвата в пределах 6 – 12 м. Для исключения забивания бункера уклон нижней площадки составляет 3 градуса.

Машины для внесения удобрений с большим объёмом бункера, как у AMAZONE ZG-B, Sulky Polyvrac XT и других машин требуют дополнительных погрузочных средств, что предполагает дополнительные затраты времени смены на загрузку разбрасывателя при перегрузочной и перевалочной технологиях внесения.

В современных условиях для равномерного распределения удобрений по времени внесения и по площади поля разрабатывают способы и устройства дифференцированного припосевного внесения основных и стартовых доз минеральных удобрений. С этой целью получают и интерпретируют данные по плодородию почвы в системе глобальных координат. Используя функции отзывчивости возделываемой культуры на каждом элементарном участке поля, получают подробную электронную карту потребности культуры в минеральных удобрениях, на основе которой определяют необходимые дозы внесения удобрений. По данным такой карты микропроцессор управляет работой дозатора минеральных удобрений и магнитными клапанами распределительной головки пневматической системы распределения минеральных удобрений. Так называемая глобальная система позиционирования позволяет снизить неравномерность распределения удобрений до 5 % [16,17].

Выводы. Ведущие фирмы-производители машин для внесения удобрений фактически выровняли уровень технического обеспечения машин. Производителям сложно опередить конкурентов революционными решениями, хотя в области автоматизации и в настоящее время появляются оригинальные решения.

На сегодняшний день на российском рынке представлено большое количество машин от ведущих производителей, разрабатывающих разбрасыватели гранулированных удобрений.

Эффективное использование таких машин предполагает высокую квалификацию инженерно-технической службы и соответствующие навыки обслуживающего персонала в сфере ремонта разбрасывателей, правильного использования технической литературы и умения правильно осуществлять технологические регулировки.

Задачами исследователей при разработке и научном техническом обосновании таких устройств являются упрощение конструкций при повышении эффективности распределения удобрений, удобства их транспортировки, а также совершенствование конструкций существующих механизмов с целью удешевления их производства.

Список литературы

1. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Синицын Г.И. Система применения удобрений – М.: Колос. – 1984. – 272 с.

2. Гарзанов А.Л., Дорофеева О.А. Производство гранулированных органических и органоминеральных удобрений из помёта и навоза – наилучшие доступные технологии их утилизации // Труды ИАЭП. – 2018. – № 95 – С. 224 – 231.

3. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. – М.: Колос. – 1971. – С. 110 – 127.

4. Высочкина Л.И., Данилов М.В. и др. Технология механизированных работ в сельском хозяйстве: Учебник. – Санкт-Петербург: Лань. – 2020. – 288 с.

5. Варавин В.И., Коротков И.В. Перспективы повышения эффективности использования посевных машин / В кн.: Молодежная наука - гарант инновационного развития АПК (материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Курск, 19 – 21 декабря 2018 г., ч.3). – Курск: Изд-во Курск.гос. с.-х. ак. – 2019. – С. 251 – 254.

6. Совершенствование технологии транспортировки, хранения и внесения удобрений. РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет. / URL: https://www.activestudy.info/sovershenstvovanie-texnologii-transportirovki-xraneniya-i-vneseniya-udobrenij/ (дата обращения 25.10.2020).

7. Проспекты и презентации фирмы Amazone. / URL: https://www.amazone.ru/ (дата обращения 27.10.2020).

8. Патент РФ №191029 МПК A01C17/00. Дисковый разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений / Гайбарян М.А., Новиков Н.Н., Сидоркин В.И. – опубл. 2019.07.22.

9. Патент РФ № 2448448 МПК A01C17/00. Разбрасыватель минеральных удобрений / Родимцев С.А., Амелин А.В., Казмин В.М. – опубл. 2012.04.27.

10. Патент РФ № 2492616 МПК A01C17/00. Разбрасыватель минеральных удобрений. / Черноволов В.А., Таранов М.А., Луханин В.А. и др. – опубл. 20.09.2013.

11. А.с. № 182943 МПК A01C, / Гайдаленок Д.Н., Иевиньш Я.К. – опубл. 09.06.66.

12. Разбрасыватель минеральных удобрений навесной. / URL: https://polemo.ru/razbrasyvatel-mineralnyh-udobrenij-navesnoj.html (дата обращения 27.10.2020).

13. Машина для внесения удобрений МВУ-6. Компания Промтехсервис. / URL: https://прицепы-орион.рф/mvu-6 (дата обращения 27.10.2020).

14. Кузнецов В.В. Сельскохозяйственные машины. Сборник лекций по дисциплине: учебно-методическое пособие в 6 частях – Брянск: Брянский ГАУ. – 2018 – 116 с.

15. Репетов А.Н. Низкорамный разбрасыватель минеральных удобрений // Картофель и овощи. – 1976. – № 4. – С. 15 – 18.

16. Лепшеев О.М. Обоснование конструктивно-режимных параметров низкорамной машины для внесения минеральных удобрений: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Курск. – 1998. – 216 с.

17. Беседин Б.П. Исследование параметров роторного рабочего органа разбрасывателя органо-минеральных удобрений: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Курск. – 2017. – 160 с.

18. БобруйскАгроМаш: Распределитель минеральных удобрений РУ-7000. / URL: https://bobruiskagromach.com/catalog/technique_for_application_of_fertilizers/machines_for_mineral_fertilizers/ru_7000/ (дата обращения 27.10.2020).

19. Проспекты компании Sulky Burel. / URL: https://www.sulky-burel.ru.com/ (дата обращения 28.10.2020).

20. Личман Г.И., Беленков А.И. Системы глобального позиционирования и их совершенствование // Нивы Зауралья. – 2014. – № 10. – С. 66 – 68.

21. Патент РФ № 2452167 МПК C1, A01C21/00. Способ и устройство дифференцированного припосевного внесения основных и стартовых доз минеральных удобрений / Марченко Н.М., Марченко А.Н., Лобачевский Я.П., Личман Г.И. и др. – опубл. 2012.06.10.

References

1. Efimov V.N., Donskih I.N., Sinicyn G.I. Sistema primenenija udobrenij – M.: Kolos. – 1984. – 272 s.

2. Garzanov A.L., Dorofeeva O.A. Proizvodstvo granulirovannyh organicheskih i organomineral'nyh udobrenij iz pomjota i navoza – nailuchshie dostupnye tehnologii ih utilizacii // Trudy IAJeP. – 2018. – № 95 – S. 224 – 231.

3. Smirnov P.M., Muravin Je.A. Agrohimija. – M.: Kolos. – 1971. – S. 110 – 127.

4. Vysochkina L.I., Danilov M.V. i dr. Tehnologija mehanizirovannyh rabot v sel'skom hozjajstve: Uchebnik. – Sankt-Peterburg: Lan'. – 2020. – 288 s.

5. Varavin V.I., Korotkov I.V. Perspektivy povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija posevnyh mashin / V kn.: Molodezhnaja nauka - garant innovacionnogo razvitija APK (materialy X Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchjonyh, g. Kursk, 19 – 21 dekabrja 2018 g., ch.3). – Kursk: Izd-vo Kursk.gos. s.-h. ak. – 2019. – S. 251 – 254.

6. Sovershenstvovanie tehnologii transportirovki, hranenija i vnesenija udobrenij. RGAU-MSHA. Zooinzhenernyj fakul'tet. / URL: https://www.activestudy.info/sovershenstvovanie-texnologii-transportirovki-xraneniya-i-vneseniya-udobrenij/ (data obrashhenija 25.10.2020).

7. Prospekty i prezentacii firmy Amazone. / URL: https://www.amazone.ru/ (data obrashhenija 27.10.2020).

8. Patent RF №191029 MPK A01S17/00. Diskovyj razbrasyvatel' granulirovannyh mineral'nyh udobrenij / Gajbarjan M.A., Novikov N.N., Sidorkin V.I. – opubl. 2019.07.22.

9. Patent RF № 2448448 MPK A01S17/00. Razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij / Rodimcev S.A., Amelin A.V., Kazmin V.M. – opubl. 2012.04.27.

10. Patent RF № 2492616 MPK A01S17/00. Razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij. / Chernovolov V.A., Taranov M.A., Luhanin V.A. i dr. – opubl. 20.09.2013.

11. A.s. № 182943 MPK A01S, / Gajdalenok D.N., Ievin'sh Ja.K. – opubl. 09.06.66.

12. Razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij navesnoj. / URL: https://polemo.ru/razbrasyvatel-mineralnyh-udobrenij-navesnoj.html (data obrashhenija 27.10.2020).

13. Mashina dlja vnesenija udobrenij MVU-6. Kompanija Promtehservis. / URL: https://pricepy-orion.rf/mvu-6 (data obrashhenija 27.10.2020).

14. Kuznecov V.V. Sel'skohozjajstvennye mashiny. Sbornik lekcij po discipline: uchebno-metodicheskoe posobie v 6 chastjah – Brjansk: Brjanskij GAU. – 2018 – 116 s.

15. Repetov A.N. Nizkoramnyj razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij // Kartofel' i ovoshhi. – 1976. – № 4. – S. 15 – 18.

16. Lepsheev O.M. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov nizkoramnoj mashiny dlja vnesenija mineral'nyh udobrenij: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Kursk. – 1998. – 216 s.

17. Besedin B.P. Issledovanie parametrov rotornogo rabochego organa razbrasyvatelja organo-mineral'nyh udobrenij: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Kursk. – 2017. – 160 s.

18. BobrujskAgroMash: Raspredelitel' mineral'nyh udobrenij RU-7000. / URL: https://bobruiskagromach.com/catalog/technique_for_application_of_fertilizers/machines_for_mineral_fertilizers/ru_7000/ (data obrashhenija 27.10.2020).

19. Prospekty kompanii Sulky Burel. / URL: https://www.sulky-burel.ru.com/ (data obrashhenija 28.10.2020).

20. Lichman G.I., Belenkov A.I. Sistemy global'nogo pozicionirovanija i ih sovershenstvovanie // Nivy Zaural'ja. – 2014. – № 10. – S. 66 – 68.

21. Patent RF № 2452167 MPK S1, A01S21/00. Sposob i ustrojstvo differencirovannogo priposevnogo vnesenija osnovnyh i startovyh doz mineral'nyh udobrenij / Marchenko N.M., Marchenko A.N., Lobachevskij Ja.P., Lichman G.I. i dr. – opubl. 2012.06.10.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Коротков Илья Владимирович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: koro7kov@yandex.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Секретарев Александр Петрович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Shvartz Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC “Meridian”, Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Korotkov Ilya – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: koro7kov@yandex.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Sekretarev Alexander – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.12.2020 Принята к публикации (Accepted): 09.02.2021

УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-22-29

О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Коновский Валерий Викторович

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

Реферат. *Разработана математическая модель определения продолжительности уборки зерновых культур в сельхозпредприятии. Модель базируется на прогнозировании эксплуатационной производительности используемых зерноуборочных комбайнов. Это позволяет оценить годовое эксплуатационное время работы комбайнов и продолжительность периода работ по уборке зерновых культур. Модель реализует зависимости увеличения времени устранения технических отказов в процессе старения комбайнов. Данный методический подход повышает точность оценки выходных параметров модели. Проведена апробация модели на примере конкретного сельхозпредприятия. Получено, что при использовании всех имеющихся в сельхозпредприятии зерноуборочных комбайнов суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка составляет 13,7 га/ч, годовое эксплуатационное время – 175 часов. Это позволяет убрать урожай зерновых культур за 17,6 дней или с учетом простоев из-за метеоусловий за 21 день. Фактическая продолжительность уборки составила 23 дня, что свидетельствует о хорошей сопоставимости моделируемых и реальных показателей. Смоделирована продолжительность уборки при обновлении парка комбайнами ACROS 550 и TORUM 750. Получены зависимости продолжительности уборки зерновых культур от урожайности и соломистости при различных вариантах комплектования парка зерноуборочных комбайнов. Выявлено, что при использовании только имеющихся в сельхозпредприятии комбайнов с увеличением урожайности от 25 ц/га до 55 ц/га продолжительность уборки растет в 2,1 раза. При обновлении парка комбайнами TORUM 750 с ростом урожайности от 25 ц/га до 55 ц/га*

продолжительность уборки увеличивается в 1,85 раза. Результаты исследований позволяют прогнозировать продолжительность уборки при различных условиях и принимать меры по обеспечению уборки зерновых культур в агротехнические сроки.

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, моделирование, производительность, урожайность, продолжительность.*

ABOUT THE DURATION OF HARVESTING OF GRAIN CROPS

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

Abstract. *A mathematical model for determining the duration of harvesting of grain crops in an agricultural enterprise is developed. The model is based on predicting the operational performance of the used combine harvesters. This allows you to estimate the annual operating time of the harvesters and the duration of the period of work on harvesting grain crops. The model implements the dependence of the increase in the time of elimination of technical failures in the aging process of combines. This methodological approach increases the accuracy of estimating the output parameters of the model. The model was tested on the example of a specific agricultural enterprise. It is found that when using all the grain harvesters available in the agricultural enterprise, the total operational productivity of the combine fleet is 13.7 ha / h, and the annual operating time is 175 hours. This allows you to harvest grain crops in 17.6 days or taking into account downtime due to weather conditions in 21 days. The actual duration of cleaning was 23 days, which indicates a good comparability of the simulated and real indicators. The duration of harvesting when updating the fleet with the ACROS 550 and TORUM 750 harvesters is modeled. The dependences of the duration of harvesting grain crops on the yield and straw content were obtained for various options for completing the fleet of grain harvesters. It was revealed that when using only the harvesters available in an agricultural enterprise with an increase in yield from 25 c / ha to 55 c / ha, the duration of harvesting increases by 2,1 times. The duration of harvesting increases by 1,85 times when the fleet is renewed with TORUM 750 combines with an increase in yield from 25 c / ha to 55 c / ha. The results of the research allow us to predict the duration of harvesting under various conditions and take measures to ensure the harvesting of grain crops in agrotechnical terms.*

Keywords: *combine harvester, simulation, productivity, yield, duration.*

Введение. Продолжительность уборки зерновых культур очень важный параметр, который определяет во многом эффективность всей уборочной компании. Рекомендуемый агросрок уборки зерновых культур обычно составляет 10 – 12 календарных дней. В отдельных случаях агросрок может удлинятся на 1 – 3 дня в связи с неравномерностью созревания культур на различных полях. Проведение уборки за пределами агросрока приводит к значительным дополнительным потерям зерна осыпанием из колоса. По результатам исследований при превышении агросрока на 20 дней они могут составлять в зависимости от культуры и сорта 17 – 40% [1 – 4]. Ежегодные потери зерна из-за нарушения агротехнических сроков в Российской Федерации достигают 10 млн. тонн [5]. С другой стороны, увеличение срока уборки приводит к снижению качества зерна по содержанию клейковины и белка. Прогнозирование продолжительности уборки зерновых культур в сельхозпредприятии позволяет оценить достаточность имеющегося парка зерноуборочных комбайнов и принять меры по снижению потерь из-за осыпания зерна. Однако процедура оценки продолжительности уборки зерновых культур в сельхозпредприятии является сложной задачей из-за большого количества значимых влияющих факторов. В данной статье предлагается методический подход для решения подобной задачи.

Материалы и методы. Исследование проводилось математическим моделированием продолжительности уборки зерновых культур в сельхозпредприятии. Описание математической модели представлено ниже.

Прогнозируемая продолжительность уборочных работ зерноуборочными комбайнами находится по выражению [6]:

$$T_{ПР} = \frac{T_{ЭК} \cdot K_{ОПР} \cdot K_{МЕТ}}{T_{ДН}}, \quad (1)$$

где $T_{ПР}$ – продолжительность уборки зерновых культур в сельхозпредприятии, дни; $K_{ОПР}$ – коэффициент, учитывающий общие простои комбайнов по организационным причинам (отсутствие топлива, транспорта, болезнь комбайнера и т.п.); $K_{МЕТ}$ – коэффициент, учитывающий удлинение уборки из-за неблагоприятных погодных условий; $T_{ДН}$ – среднее суточное эксплуатационное время работы комбайна, ч.

По результатам мониторинга работы зерноуборочных комбайнов в условиях Центрально-Черноземного региона $K_{ОПР}$ = 1,15; $T_{ДН}$ = 14 ч. В работе принята следующая градация сезонов уборки по метеоусловиям: сухой, нормальный, влажный, особовлажный. Коэффициент метеоусловий для сухого сезона $K_{МЕТ} = 1$, для нормального – $K_{МЕТ} = 1{,}2$, для влажного – $K_{МЕТ} = 1{,}5$, для особовлажного – $K_{МЕТ} = 2{,}0$.

В рассматриваемой модели принято допущение, что годовое эксплуатационное время работы каждого комбайна сельхозпредприятия на уборке зерновых культур одинаково. Это справедливо, когда комбайны одновременно начинают и заканчивают уборку в сельхозпредприятии. В этом случае, определить годовое эксплуатационное время работы комбайнов можно по формуле:

$$T_{ЭК} = \frac{S_З}{W_{ΣЭКГА}}, \quad (2)$$

где $T_{ЭК}$ – годовое эксплуатационное время работы комбайнов $S_З$ – площадь уборки зерновых культур в сельхозпредприятии, га; $W_{ΣЭКГА}$ – суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка, га/ч.

Суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка определяется по формуле:

$$W_{ΣЭКГА} = \frac{10 \cdot W_{ΣЭК}}{U}, \quad (3)$$

где $W_{ΣЭК}$ – суммарная эксплуатационная производительность комбайнов по намолоту, т/ч; U – средняя урожайность зерновых культур, ц/га.

Производительность $W_{ΣЭК}$ определяется суммой:

$$W_{ΣЭК} = \sum_{i=1}^{N} W_{ЭКi}, \quad (4)$$

где $W_{ЭКi}$ – эксплуатационная производительность i-го комбайна сельхозпредприятия, т/ч; N – количество зерноуборочных комбайнов, шт.

Эксплуатационная производительность комбайна определяется по формуле [7, 8]:

$$W_{ЭК} = \frac{W_1}{\tau_{ЭК}}, \quad (5)$$

где W_1 – производительность комбайна по основному времени, т/ч; $\tau_{ЭК}$ – удельные затраты эксплуатационного времени работы комбайна.

Производительность зерноуборочного комбайна за 1 ч основного времени можно смоделировать на основе среднестатистической пропускной способности комбайна и учете условий уборки зерновых культур в сельхозпредприятии:

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

где $G_П$ – среднестатистическая паспортная пропускная способность зерноуборочного комбайна; ε – отношение массы соломы к единице массы зерна; $K_{НЧ}$ – коэффициент, учитывающий влияние технологии уборки незерновой части урожая (валковая $K_{НЧ} = 1$, копенная

$K_{НЧ} = 0{,}9...0{,}95$, измельчение с разбрасыванием $K_{НЧ} = 0{,}8...0{,}9$); $K_{УСЛ}$ – коэффициент, учитывающий условия уборочных работ по влажности, засоренности, и полеглости зерновой культуры [6].

В общем виде удельные затраты эксплуатационного времени определяются суммой:

$$\tau_{ЭК} = \tau_{СМ} + \tau_{42}, \quad (7)$$

где $\tau_{СМ}$ – удельные затраты сменного времени; τ_{42} – удельные затраты времени на устранение технических отказов.

Процедура моделирования удельных затрат $\tau_{СМ}$ и τ_{42} подробно изложена в работе [6].

Заметим, что при определении удельных затрат времени на устранение технических отказов учитывается их увеличение в зависимости от срока эксплуатации комбайна [9, 10]. Такой методический подход повышает точность оценки эксплуатационной производительности зерноуборочного комбайна.

В итоге разработанная модель позволяет определять продолжительность уборки зерновых культур в сельхозпредприятии. Входными данными при этом являются показатели потребительских свойств зерноуборочных комбайнов и показатели условий уборки.

Результаты и их обсуждение. В исследованиях была поставлена задача – проверить работоспособность модели и оценить влияние на продолжительность уборки состава парка комбайнов, средней урожайности и соломистости зерновых культур. Для проведения исследований на базе модели была разработана специальная компьютерная программа и база данных потребительских свойств основных марок зерноуборочных комбайнов. Исследования выполнялись с использованием компьютерного моделирования на примере колхоза-племенного завода им. Ленина Тамбовского района Тамбовской области. В таблице 1 представлены средние условия уборки зерновых культур в данном сельхозпредприятии, наблюдаемые в уборочном сезоне 2020 года.

Таблица 1 – Условия уборки зерновых культур

Площадь зерновых, га	2400
Способ уборки	напрямую
Средняя урожайность, ц/га	43
Соломистость	1,4
Средняя длина гона, м	1250
Сроки уборки зерновых культур	10.07.2020 - 02.08.2020
Коэффициент увеличения продолжительности из-за метеоусловий	1,2
Средняя полеглость, %	5
Средняя засоренность, %	5
Влажность соломы, %	15

Предприятие имеет базовый парк из восьми зерноуборочных комбайнов, показанный в таблице 2. Пять комбайнов уже исчерпали свой нормативный срок службы, что естественно сказывается на их надежности и эксплуатационной производительности.

Таблица 2 – Парк зерноуборочных комбайнов сельхозпредприятия

№	Марка комбайна	Сезон эксплуатации, лет	Ширина жатки, м	Приспособление для уборки незерновой части
1	Дон 1500Б	18	6	измельчитель
2	Дон 1500Б	15	6	измельчитель
3	Дон 1500Б	15	6	измельчитель
4	Дон 1500Б	12	6	измельчитель
5	ACROS 530	12	6	измельчитель
6	ACROS 530	10	6	измельчитель
7	ACROS 530	8	7	измельчитель
8	КЗС-1218 ПАЛЕССЕ GS12	8	7	измельчитель

Очевидно, что марочный и количественный состав парка зерноуборочных комбайнов оказывает решающее влияние на продолжительность уборки. Поэтому при моделировании были рассмотрены разнообразные варианты формирования парка зерноуборочных комбайнов (таблица 3).

Таблица 3 – Варианты формирования парка зерноуборочных комбайнов

Марка комбайна	Сезон эксплуатации, лет	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
Дон 1500Б	18	+	-	-	-
Дон 1500Б	15	+	-	-	-
Дон 1500Б	15	+	-	-	-
Дон 1500Б	12	+	+	+	+
ACROS 530	12	+	+	+	+
ACROS 530	10	+	+	+	+
ACROS 530	8	+	+	+	+
КЗС-1218 ПАЛЕССЕ GS12	8	+	+	+	+
ACROS 550	1	-	-	+	-
ACROS 550	1	-	-	+	-
ACROS 550	1	-	-	+	-
TORUM 750	1	-	-	-	+
TORUM 750	1	-	-	-	+
TORUM 750	1	-	-	-	+

Результаты моделирования показателей предложенных вариантов парка зерноуборочных комбайнов в рассматриваемом сельхозпредприятии сведены в таблицу 4. Отметим, что моделирование выполнялось для условий уборки, имевших место в 2020 году.

Таблица 4 – Показатели использования различных вариантов парка зерноуборочных комбайнов

Показатели	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
Суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка, га/ч	13,68	9,15	15,04	18,27
Годовое эксплуатационное время работы комбайнов	175,48	262,33	159,60	131,37
Прогнозируемая продолжительность уборочных работ, дн.	17,55	26,23	15,96	13,14
Прогнозируемая продолжительность уборочных работ с учетом метеоусловий, дн.	21,06	31,48	19,15	15,76

Как показывает таблица 4, при использовании всех имеющихся в сельхозпредприятии зерноуборочных комбайнов (вариант 1) суммарная эксплуатационная производительность комбайнового парка составляет 13,7 га/ч. Это позволяет убрать урожай зерновых культур за 17,6 дней или с учетом простоев из-за метеоусловий примерно за 21 день. Фактическая продолжительность уборки в 2020 году составила 23 дня, что свидетельствует о хорошей сопоставимости моделируемых и реальных показателей.

При втором варианте, когда из эксплуатации исключаются три наиболее старых комбайна Дон-1500Б, суммарная эксплуатационная производительность парка снижается до 9,15 га/ч. Соответственно, увеличивается годовое эксплуатационное время работы комбайнов до 262 часов и продолжительность уборочных работ с учетом метеоусловий до 31,5 дня. Такая

продолжительность более чем в 2 раза превышает рекомендуемые агросроки и приведет к большим потерям зерна из-за самоосыпания.

Третий вариант характеризуется обновлением парка 3-мя новыми комбайнами ACROS 550 взамен 3-х комбайнов Дон-1500Б. Суммарная эксплуатационная производительность при таком парке составляет 15 га/ч, продолжительность уборки – 19 дней.

Четвертый вариант связан с использованием комбайнов TORUM 750. Это комбайн производства группы компаний «Ростсельмаш» с молотильно-сепарирующим устройством роторного типа. Отличительной особенностью комбайна является вращающаяся роторная дека, что позволяет увеличить полезную площадь сепарации и повысить производительность. Комбайн комплектуется мощным двигателем 425 или 440 л.с., имеет объем бункера 10500 литров. При этом варианте наблюдается самая высокая производительность 18,3 га/ч. Данный вариант является наиболее предпочтительным с точки зрения продолжительности уборки зерновых культур. Даже с учетом метеоусловий она составляет 15,8 дня.

Следующим этапом было исследование влияния условий уборки зерновых культур на ее продолжительность. С использованием разработанной модели и компьютерной программы были получены зависимости продолжительности уборки от средней урожайности при различной соломистости зерновых культур. Зависимости получены на примере рассматриваемого колхоза-племенного завода им. Ленина для нормального сезона по метеоусловиям. На рисунке 1 подобные зависимости представлены для уборки при первом варианте комплектования парка зерноуборочных комбайнов, когда используются все имеющиеся собственные комбайны.

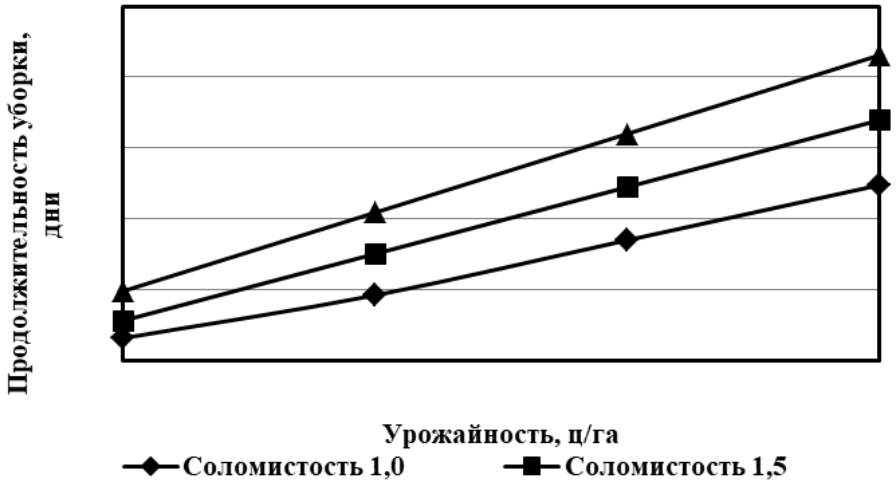


Рисунок 1 – Зависимости продолжительности уборки зерновых культур от урожайности и соломистости при первом варианте парка используемых зерноуборочных комбайнов

Как показывают полученные зависимости, продолжительность уборки значительно увеличивается с возрастанием средней урожайности зерновых культур. Так, при соломистости 1,0 в рассматриваемом интервале урожайности от 25 ц/га до 55 ц/га продолжительность увеличивается в 1,93 раза, при соломистости 1,5 – в 2,10 раза, при соломистости 2,0 – в 2,12 раза. При средней урожайности 45 ц/га и соломистости хлебной массы 1,0 уборка только собственными имеющимися комбайнами продлится около 18 дней, при соломистости 1,5 – 22 дня, при соломистости 2,0 – 26 дней.

При четвертом варианте комплектования парка с использованием комбайнов TORUM 750 (рисунок 2) рост продолжительности от урожайности менее крутой. В этом случае рост продолжительности уборки составляет при соломистости 1,0 – в 1,62 раза, при соломистости 1,5 – в 1,85 раза, при соломистости 2,0 – в 1,99 раза. Этот вариант обеспечит уборку при урожайности зерновых культур 45 ц/га за период: 14 дней при соломистости культур – 1,0; 16 дней при соломистости – 1,5; 19 дней при соломистости – 2,0.

Рисунок 2 – Зависимости продолжительности уборки зерновых культур от урожайности и соломистости при четвертом варианте парка используемых зерноуборочных комбайнов

Выводы. Разработана модель определения продолжительности уборки зерновых культур. На примере конкретного сельхозпредприятия подтверждена работоспособность модели. Получены зависимости продолжительности уборки зерновых культур от урожайности, соломистости при различных вариантах комплектования парка зерноуборочных комбайнов. Результаты исследований позволяют прогнозировать продолжительность уборки при различных условиях и принимать меры по обеспечению уборки зерновых культур в агротехнические сроки.

Список литературы

1. Жалнин Э.В., Пьянов В.С. От динамики самоосыпаемости зерна к высокоэффективной уборке // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 4. – С. 8 – 10.

2. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Костыленко О.А. Результаты исследований по определению влияния продолжительности проведения уборки на величину биологических потерь зерна // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 11. – С. 11 – 14.

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

4. Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Орешкин Д.С. Мониторинг качества технологического процесса уборки зерновых культур комбайном Дон-1500 // Техника и оборудование для села. – 2007. – № 6. – С. 10 – 11.

5. Горбачев И.В., Шрейдер Ю.М. Как убрать зерновые без потерь //Сельский механизатор. – 2012. – № 6. – С. 5 – 6.

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

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

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

9. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Изменение надежности зарубежных зерноуборочных комбайнов в процессе эксплуатации // Машинно-технологическая станция. – 2009. – № 2. – С. 14 – 15.

10. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Надежность зерноуборочных комбайнов в реальных условиях эксплуатации // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2014. – № 1. – С. 37 – 40.

References

1. Zhalnin Je.V., P'janov V.S. Ot dinamiki samoosypaemosti zerna k vysokojeffektivnoj uborke // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2010. – № 4. – S. 8 – 10.

2. Bur'janov A.I., Bur'janov M.A., Kostylenko O.A. Rezul'taty issledovanij po opredeleniju vlijanija prodolzhitel'nosti provedenija uborki na velichinu biologicheskih poter' zerna // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2015. – № 11. – S. 11 – 14.

3. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Tehnicheskoe osnashhenie kak faktor vosstanovlenija fermerskih hozjajstv // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2010. – № 5. – S. 24 – 26.
4. Erohin G.N., Konovskij V.V., Oreshkin D.S. Monitoring kachestva tehnologicheskogo processa uborki zernovyh kul'tur kombajnom Don-1500 // Tehnika i oborudovanie dlja sela. –2007. – № 6. – S. 10 – 11.
5. Gorbachev I.V., Shrejder Ju.M. Kak ubrat' zernovye bez poter' //Sel'skij mehanizator. – 2012. – № 6. – S. 5 – 6.
6. Erohin G.N., Konovskij V.V., Tishaninov N.P. Ispol'zovanie zernouborochnyh kombajnov za predelami reglamentirovannogo sroka sluzhby. – M.: RASHN. – 2005. – 63 s.
7. Zhalnin Je.V. Raschet osnovnyh parametrov zernouborochnyh kombajnov. M.: VIM. – 2011. – 102 s.
8. GOST R 52778-2007. Ispytanija sel'skohozjajstvennoj tehniki. Metody jekspluatacionno-tehnologicheskoj ocenki. – M.: «Standartinform». – 2008. – 24 s.
9. Erohin G.N., Konovskij V.V. Izmenenie nadezhnosti zarubezhnyh zernouborochnyh kombajnov v processe jekspluatacii // Mashinno-tehnologicheskaja stancija. – 2009. – № 2. – S. 14 – 15.
10. Erohin G.N., Konovskij V.V. Nadezhnost' zernouborochnyh kombajnov v real'nyh uslovijah jekspluatacii // Sel'skohozjajstvennaja tehnika: obsluzhivanie i remont. – 2014. – № 1. – S. 37 – 40.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

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

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

Author credentials
Affiliations

Erokhin Gennady – Candidate of Technical Sciences, 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: witin4@rambler.ru.

Konovskiy Valery – Candidate of Technical Sciences, Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-29-36

ДИНАМИКА ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛОТЫХ ЗЕРНОВОК ЯЧМЕНЯ ИЗ ЗЕРНОСМЕСИ

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

Реферат. *Изучали динамику процесса выделения зерновой примеси из ячменя. Получены закономерности интенсивности выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси в зависимости скоростного режима работы (n), угла (γ_n) поворота выводного лотка относительно горизонта и исходной засоренности ($З_и$). Установлено, что на интенсивность выделения примесного компонента из зерносмеси не влияет эффект его динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента, так как поверхностные свойства колотых зерновок совпадают с*

поверхностными свойствами основной культуры (не колотых зерновок ячменя). В итоге впервые подтверждена теоретическая закономерность интенсивности выделения произвольного компонента из зерносмеси, полученная из условия его равномерного распределения в циркулирующих слоях и без учета разновекторной вертикальной сегрегации в них. Установлен равномерно убывающий характер выделенных масс примеси. Интенсивность выделения не высока – стандартная длина ячеистой поверхности при $З_и$ = 1 %, n = 40 об/мин, γ_n = 35° обеспечивает степень выделения на уровне 49,6 %. При $З_и$ = 2 % она снижается до 48 %. Возможности повышения степени выделения зерновой примеси в виде колотых зерновок ячменя за счет увеличения длины (l) ячеистой поверхности ограничены. С увеличением l до 4 м степень выделения примеси составляет ≈ 58 % в обоих вариантах исходной засоренности. С ростом скоростного режима работы от 40 до 55 об/мин выделенная масса примеси в первом интервале времени измерений (t = 10 с) увеличилась на 241 %. В последующих интервалах времени соотношение выделенных масс выравнивается. При росте γ_n увеличивается контраст выделяемых масс примеси в 1-ом интервале времени замеров. Это объясняется тем, что при γ_n = 55° и малых n лоток захватывает лишь верхнюю часть факела выброса частиц, на стандартной длине ячеистых цилиндров выделяется лишь 7,1 % примеси из колотых зерновок ячменя.

Ключевые слова: *триер, очистка, зерносмесь, динамика процесса, качество работы, исходная и остаточная засоренность.*

DYNAMICS OF SEPARATION OF BARLEY GRAINS FROM THE GRAIN MIXTURE

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

Abstract. *The dynamics of the process of separating grain impurities from barley was studied. Regularities of the intensity of the release of chopped barley kernels from the grain mixture depending on the speed mode of operation (n), the angle (γn) of the hatcher chute rotation relative to the horizon and the initial contamination (Зи) were obtained. It was found that the intensity of the release of the impurity component from the grain mixture is not affected by the effect of its dynamic segregation in the circulating layers of the segment, since the surface properties of the chopped caryopses coincide with the surface properties of the main crop (not chopped barley kernels). The theoretical regularity of the intensity of the release of an arbitrary component from a grain mixture, obtained from the condition of its uniform distribution in the circulating layers and without taking into account the multi-vector vertical segregation in them, was finally confirmed for the first time. The uniformly decreasing character of the separated impurity masses was established. The intensity of release is not high - the standard length of the cellular surface at Z_i = 1 %, n = 40 rpm, γ_n = 35° provides the degree of release at the level of 49,6 %. With Z_i = 2 %, it decreases to 48 %. The possibilities of increasing the degree of separation of grain impurities in the form of chopped barley kernels by increasing the length (l) of the cellular surface are limited. With an increase in l up to 4 m, the degree of impurity release is ≈ 58 % in both variants of the initial contamination. With an increase in the high-speed operating mode from 40 to 55 rpm, the separated mass of impurity in the first measurement time interval (t = 10 s) increased by 241 %. In subsequent time intervals, the ratio of the allocated masses is leveled. With an increase in γ_n, the contrast of the released impurity masses increases in the 1st time interval of measurements. This is explained by the fact that at γ_n = 55° and small n the tray captures only the upper part of the particle ejection plume; on the standard length of the cellular cylinders, only 7,1 % of the impurity is released from the chopped barley kernels.*

Keywords: *trier, cleaning, grain mixture, process dynamics, work quality, initial and residual contamination.*

Введение. В классической теории триеров [1, 2] и последующих исследованиях технологий триерной очистки зерносмесей [3 – 5] не были установлены закономерности выделения примесей

по длине ячеистых поверхностей, что сдерживало совершенствование технологии в части управления процессом. В нормативно-технической документации сопровождения отечественных и зарубежных зерноочистительных технологий до сих пор отсутствуют регламенты по выбору режимов работы и настроечных параметров триеров. Из-за этого триерные технологии используются за границами экономической эффективности, выводятся из эксплуатации. Для решения задач исследований и последующей модернизации триерных технологий нами создана новая экспериментальная база [6 – 9] с заменой пространственной физической модели процесса на временную, которая позволяет снять ограничения по диапазонам исследуемых факторов. С использованием созданной экспериментальной базы нами установлены основные закономерности триерной очистки зерносмесей [10 – 12], где основной культурой была пшеница. Однако свойства ячменя существенно отличаются от свойств пшеницы. Поэтому исследования динамики процесса выделения зерновой примеси из ячменя являются актуальными.

Материалы и методы. В работе использован стенд циклического действия для исследования ячеистых поверхностей, реализующий временную модель процесса, обеспечивающую инвариантность его оценок относительно длины рабочей поверхности. Использовался решетный классификатор и стандартные измерительные приборы.

Результаты и их обсуждение. В работах [10 – 12] не решались задачи выделения из зерносмеси зерновой примеси. Выделяемые примесные компоненты резко отличались по физико-механическим свойствам от свойств основной культуры (пшеницы). Из-за этого на динамику процесса выделения примесей сильное влияние оказывал разновекторный эффект динамической сегрегации примесных компонентов в циркулирующих слоях сегмента (многократно изменял интенсивность процесса), что исключало возможность экспериментального подтверждения установленной нами теоретической закономерности.

В настоящей работе основной культурой является ячмень и свойства колотых зерновок ячменя в значительной мере совпадают со свойствами частиц основной культуры за исключением их длины ($\bar{l} = 5{,}1$ мм). Этот вариант зерносмеси является уникальным – интенсивность выделения примесного компонента не зависит от его сегрегации в циркулирующих слоях сегмента, так как ее нет – нет «осаждения» и нет «всплытия», рисунок 1.

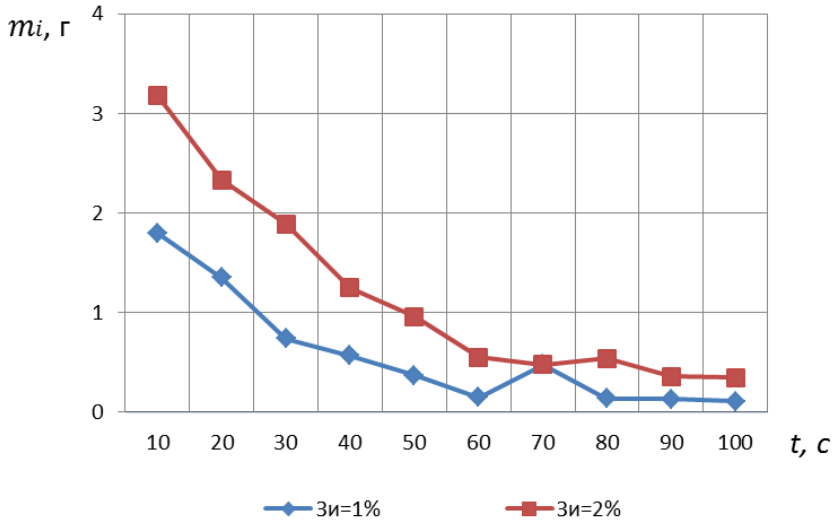


Рисунок 1 − Динамика выделения частиц колотого ячменя из зерносмеси при n=40 об/мин, $\gamma_п$=35° и различной $З_и$

Динамика интенсивности выделения колотых зерновок ячменя, представленная на рисунке 1, близка к теоретической – равномерно убывающей, полученной из условий: примесные частицы в циркулирующих слоях распределяются равномерно; содержание примесных частиц в циркулирующем сегменте уменьшается с убывающей интенсивностью; находящиеся в контактирующем слое примесные частицы выделяются за 1 цикл полностью по причине

многократного превышения сепарирующих воздействий в кукольном цилиндре относительно реального количества примесных частиц в контактирующем слое.

Для сформулированных условий аналитической оценки динамики выделения примесных частиц из зерносмеси справедливо уравнение:

$$З_i = З_и\left(1 - \sum_{1}^{i=к} n_{чпi}/P\right), \quad (1)$$

где $З_i$ – засоренность сегмента после i-го цикла выделения примеси, %; $З_и$ исходная засоренность зерносмеси, %; $к$ – число циклов выделения, шт; $n_{чпi}$ – число примесных частиц, выделенных в i-ом цикле, шт; P − исходное число примесных частиц в сегменте, шт.

По аналогии с уравнением (1) для процесса выделения примесных частиц с интервальной по времени оценкой в i-ом интервале выделенных масс можно записать:

$$З_i = З_и\left(1 - \sum_{1}^{j=к} m_j/M\right), \quad (2)$$

где m_j – масса примесей, выделенных из сегмента в j-ом временном интервале, г; M – исходная масса примеси в сегменте, г.

Анализ динамики выделения колотых зерновок ячменя по формуле (2) позволил установить, что остаточная засоренность зерносмеси ($З_о$) даже по истечении времени в 100 с, которое в 1,8 раза превышает продолжительность процесса в стандартном кукольном цилиндре, составляет 0,42 %. Это выше допустимых значений даже при $З_и$ = 1 %. На стандартной длине ячеистого цилиндра остаточная засоренность еще выше ($З_о$ = 0,504 %) при степени выделения $С_{в_{ст}}$= 49,6 %.

Очистка зерносмеси с колотыми зерновками ячменя при $З_и$ = 2 % обеспечивает сопоставимые значения степени выделения примеси по времени процесса в стандартном кукольном цилиндре – $С_{в_{ст}}$= 48 %. В конце периода t = 100 с степень выделения $С_в \approx$ 58 % в обоих вариантах исходной засоренности – в первом $С_в$ = 58,4 %, а во втором $С_в$ = 57,9 %. Однако, остаточная засоренность зерносмеси при $З_и$ = 2 % составляет 1,04 %, что приблизительно в 2 раза выше, чем в первом случае – при $З_и$ = 1 %.

В этом состоит принципиальное отличие зерносмесей с колотыми частицами основной культуры от зерносмесей с легковыделяемыми примесями (семенами горчицы, проса, сорго, вики). В первых отсутствует эффект динамической сегрегации и процесс выделения примесей затягивается, а во вторых – исходная концентрация примесных компонентов ($З_и$) определяет потенциал динамической сегрегации и продолжительность их выделения, которая практически не зависит от величины $З_и$.

Оценка динамики процесса выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси за периоды времени (55 и 100 с) подтвердила сопоставимость значений $С_{в_{ст}}$ и $С_в$ независимо от $З_и$. Однако из рисунка 1 можно заметить, что на начальных интервалах времени замеров соотношение абсолютных значений выделенных масс примесей < 2. Это объясняется преобладанием эффекта «выедания» примесных частиц из ячей на указанных промежутках времени протекания процесса при $З_и$ = 2 % в сравнении с условиями, когда $З_и$ = 1 %.

Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростным режимом работы представлена на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что прирост массы выделенного примесного компонента из зерносмеси за первый интервал времени t = 10 с с увеличением n от 40 до 55 об/мин составил 241 %. В последующих интервалах времени протекания процесса соотношение выделяемых масс (m_i) при различных скоростных режимах работы выравнивается.

Общим для всех n является убывающий характер взаимосвязи $m_i = f(t)$. Значительная разница m_i в первом интервале при максимальном увеличении скоростного режима работы объясняется ростом полноты охвата факела выброса примесных частиц кромками выводного лотка. Однако, даже при n = 55 об/мин и $\gamma_п$ = 35° за t = 100 с примесные частицы выделяются из зерносмеси только на 89 %. Объясняется это тем, что средняя длина примесных частиц (l = 5,1 мм) превышает размер ячей. При этом увеличивается вероятность раннего выпадения частиц из ячей и расширения угла охвата факела их выброса. Эффект инерционного удержания частиц с ростом n не позволяет компенсировать расширение факела выброса из-за их завышенных линейных размеров.

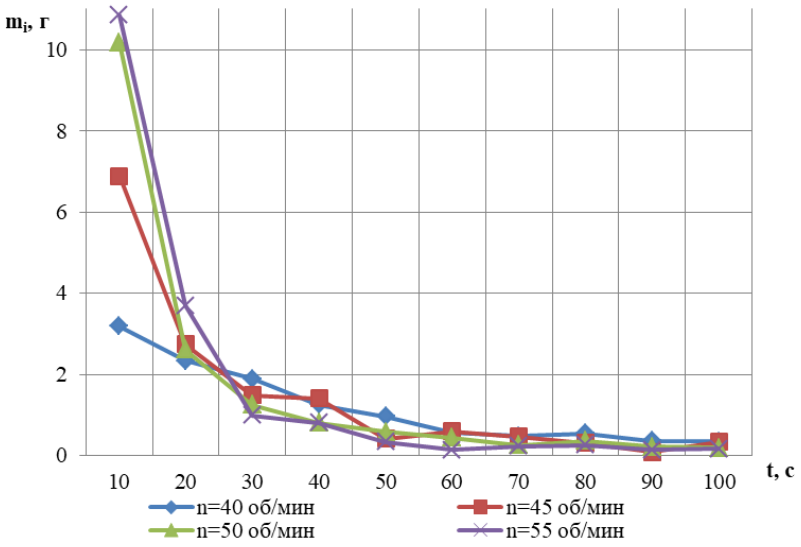


Рисунок 2 – Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростью (n) вращения ячеистого барабана при $\gamma_п$=35°; $m_н$=1000 г; $З_и$=2%

Еще более контрастная динамика выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси получена при увеличении $\gamma_п$ до 55°, рисунок 3. Увеличение скоростного режима лишь до 50 об/мин приводит к росту массы выделенных примесных частиц в первом интервале времени t=30 с в 6,44 раза (от 0,86 до 5,54 г). Это объясняется тем, что при $\gamma_п$=55° и n=40 об/мин выводной лоток захватывает лишь верхнюю часть факела выброса частиц ячеями – незначительную по углу охвата.

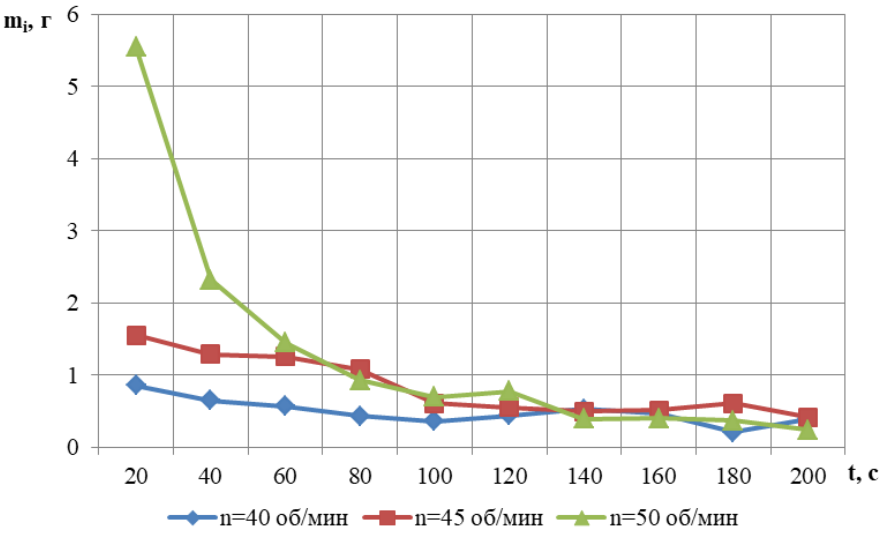


Рисунок 3 – Взаимосвязь динамики выделения колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростью (n) вращения ячеистого барабана при $\gamma_п$=55°; $m_н$=1000 г; $З_и$=2%

Очевидно, что скоростной режим работы n=40 об/мин при $\gamma_п$=55° недостаточен. Поэтому на стандартной длине ячеистого цилиндра выделяется только 7,1% массы примеси. За период времени t=180 с, что эквивалентно протеканию процесса в ячеистом цилиндре длиной 7,2 м,

выделяется 24,6% примесей. С ростом *n* до 50 об/мин степень выделения примесей повышается незначительно. На стандартной длине (*l*=2,2 м) ячеистого цилиндра она составила 20,4% при $З_{о_{ст}}$=1,593%, что не удовлетворяет требованиям к качеству процесса.

Нужно отметить, что стендовому скоростному режиму работы *n*=40 об/мин соответствуют режим работы натурного ячеистого цилиндра $n_н$=28,3 об/мин и коэффициент кинематического режима $к_1$=0,268. Это нижняя граница скоростного режима работы натурного триера. Однако и при *n*=50 об/мин ($n_н$=35,4 об/мин; $к_3$=0,419) необходимая степень выделения колотых зерновок ячменя не достигается. Дальнейшее увеличение скоростного режима работы приводит к росту технологических потерь.

Выводы. Зерновая примесь из колотых зерновок ячменя не подвергается динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента из-за близости физико-механических свойств с основной культурой. Интенсивность выделения примесного компонента существенно зависит от его исходной концентрации в зерносмеси и этот эффект сохраняется на всей длине рабочей поверхности. Разница в интенсивности выделения примеси в зависимости от скоростного режима работы проявляется только на начальных интервалах времени, а затем выравнивается. Это объясняется неустойчивым размещением колотых зерновок ячменя с завышенными линейными размерами в ячеях. По той же причине не обеспечивается качество процесса стандартным ячеистым цилиндром по показателю остаточной засоренности.

Список литературы

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

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

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

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

5. Абидуев А.А. Исследование процесса выпадения зерна из ячеек триерных цилиндров // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 1989. – С. 107-108.

6. Патент РФ № 2616201. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2016108182; заяв. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017. – Бюл. № 11.

7. Патент РФ № 2492940. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амельянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А. – № 2012112301/03; заявл. 29.03.2012; опубл. 20.09.2013. – Бюл. № 26.

8. Патент РФ № 2492941. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Амельянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. – № 2012113207/03; заявл. 04.04.2012; опубл. 20.09.2013. – Бюл. № 26.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей – «ТИАН – 1» // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4 – 5.

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

11. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42 – 48.

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

References

1. Letoshnev M.N. Sel'skohozjajstvennye mashiny, teorija, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M. – L.: Sel'hozgiz. – 1955. – 856 s.

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

3. Urhanov N.A. Issledovanie tehnologicheskogo processa raboty cilindricheskogo triera s cel'ju povyshenija proizvoditel'nosti i kachestva razdelenija smesi: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – 1968. – 130 s.

4. Pavlovskij G.T. Osnovnye voprosy tehnologii ochistki semjan zernovyh kul'tur: avtoreferat dis. … doktora s.-h. nauk: 538 – Rastenievodstvo. – Moskva. – 1969. – 69 s.

5. Abiduev A.A. Issledovanie processa vypadenija zerna iz jacheek triernyh cilindrov // Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologij i upravlenija (Vestnik VSGTU). – 1989. – S. 107-108.

6. Patent RF № 2616201. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2016108182; zajav. 09.03.2016; opubl. 13.04.2017. – Bjul. № 11.

7. Patent RF № 2492940. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Amel'janc A.G., Tishaninov M.A., Rastjushevskij K.A. – № 2012112301/03; zajavl. 29.03.2012; opubl. 20.09.2013. – Bjul. № 26.

8. Patent RF № 2492941. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Amel'janc A.G., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Rastjushevskij K.A. – № 2012113207/03; zajavl. 04.04.2012; opubl. 20.09.2013. – Bjul. № 26.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizirovannyj pribor dlja vydelenija primesej iz zernosmesej – «TIAN – 1» // Sel'skij mehanizator. – 2019. – № 1. – S. 4 – 5.

10. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Intensivnost' vydelenija zernovok osnovnoj kul'tury iz zernosmesej s dlinnymi primesjami // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2019. – № 3 (47). – S. 74 – 77.

11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Kachestvo vydelenija semjan gorchicy i sorgo iz pshenicy jacheistymi poverhnostjami // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 3 (27). – S. 42 – 48.

12. Anashkin A.V. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij dinamiki vydelenija korotkih primesej jacheistoj poverhnost'ju / V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii – novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva. XVIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. – 2015. – S. 92 – 96.

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.

Альшинайиин Хайдер Джамил Джабер – ведущий конструктор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

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.

Alshinayin Haider Jamil Jaber – leading designer of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

Поступила в редакцию (Received): 25.12.2020 Принята к публикации (Accepted): 27.01.2021

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-36-42

ДИНАМИКА И КАЧЕСТВО ВЫДЕЛЕНИЯ ГРЕЧИШКИ ВЬЮНКОВОЙ ИЗ ЯЧМЕНЯ

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

Реферат. *Представлены зависимости интенсивности выделения семян гречишки вьюнковой от скоростных режимов работы (n), углового положения выводного лотка (γ_n) в ячеистом цилиндре, исходной засоренности зерносмеси ($З_u$). Дана оценка качества процесса по показателям степени выделения примеси ($С_{в_{ст}}$) и остаточной засоренности ячменя ($З_{о_{ст}}$), обеспечиваемых стандартной длиной ($l_{ст}$ = 2,2 м) ячеистого цилиндра, во взаимосвязи с режимами работы и настроечными параметрами. Установлено, что при γ_n = 35° на скоростном режиме работы n = 45 об/мин обеспечивается максимальная степень выделения примеси ($С_{в_{ст}}$ = 100 %) стандартной длиной ячеистого цилиндра. С ростом n до 55 об/мин продолжительность полного выделения примеси сокращается на 27,3 %. Рост γ_n до 45° снижает возможности стандартного ячеистого цилиндра до $С_{в_{ст}}$ = 98,5 % при n = 40 об/мин. Однако, при n = 55 об/мин уровень $С_{в_{ст}}$ = 100 % достигается даже частичным использованием рабочей поверхности ячеистого цилиндра – $l_{ст}$ = 73 %. При γ_n = 35° обеспечивается максимальный охват факела выброса частиц кромками выводного лотка, но с ростом n от 40 до 55 об/мин в 4,6 раза возрастают технологические потери за счет усиления эффекта «инерционного удержания» контактирующего слоя. Прирост γ_n до 45 – 55° позволяет в диапазоне n = 40 – 55 об/мин снизить технологические потери в 1,25 – 5 раз. Интенсивность выделения гречишки вьюнковой в первом интервале времени $m_{i(1)}$ измерений (t_u = 5 с) при γ_n = 35° увеличивается в 1,95 раза с ростом n в диапазоне 40 – 55 об/мин. Увеличение γ_n до 55° снижает $m_{i(1)}$ в 5,76 раз. С увеличением скоростного режима работы триера зависимость интенсивности выделения примеси в первых интервалах времени от величины γ_n слабеет, а технологические потери становятся менее стабильными.*

Ключевые слова: *зерносмесь, гречишка вьюнковая, разделение, триер, динамика процесса, качество.*

DYNAMICS AND QUALITY OF EXTRACTION OF BINDWEED BUCKWHEAT FROM BARLEY

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

Abstract. *The dependences of the intensity of seed extraction of bindweed buckwheat on the speed modes of operation (n), the angular position of the hatcher chute (γ_n) in the cellular cylinder, and the initial contamination of the grain mixture (Z_i) are presented. An assessment of the process quality in*

terms of the degree of impurity release (C_{wst}) and residual contamination of barley (Z_{ost}), provided by the standard length (l_{st} = 2.2 m) of the cellular cylinder, in conjunction with the operating modes and tuning parameters is given. It was found that at γ_n = 35° at a high-speed operating mode of n = 45 rpm, the maximum degree of impurity release (C_{wst} = 100 %) with the standard length of the cellular cylinder is provided. With an increase in n to 55 rpm, the duration of the complete separation of the impurity decreases by 27,3 %. The growth of γn up to 45° reduces the capabilities of a standard cellular cylinder to C_{wst} = 98,5 % at n = 40 rpm. However, at n = 55 rpm, the level C_{wst} = 100 % is achieved even by partial use of the working surface of the cellular cylinder − l_{st} = 73 %. At γ_n = 35°, the maximum coverage of the particle ejection plume by the edges of the outlet chute is ensured, but with an increase in n from 40 to 55 rpm, technological losses increase 4.6 times due to the enhancement of the effect of "inertial confinement" of the contacting layer. An increase in γn up to 45 – 55° allows in the range n = 40 – 55 rpm to reduce technological losses by 1.25 – 5 times. The intensity of isolation of bindweed buckwheat in the first time interval $m_{i(1)}$ measurements (t_i = 5 s) at γ_n = 35° increases by 1.95 times with an increase in n in the range of 40 – 55 rpm. An increase in γ_n to 55° reduces $m_{i(1)}$ by 5.76 times. With an increase in the speed mode of the trier operation, the dependence of the intensity of impurity release in the first time intervals on the value of γ_n weakens, and the technological losses become less stable.

Keywords: *grain mixture, bindweed buckwheat, separation, trier, process dynamics, quality.*

Введение. Выдающиеся представители отечественной земледельческой механики – Горячкин В.П., Летошнев М.Н., Блох З.Ш. создали основы теории триерной очистки зерна [1 – 4]. Ими глубоко проработаны вопросы взаимодействия, захвата и выброса частиц зерносмесей в отводящий рабочий орган. Эти исследования послужили основой оптимизации параметров ячеистых поверхностей и режимов работы. Базовые положения теории триеров получили дальнейшее развитие в работах [5 – 10], авторы которых впервые получили экспериментально подтвержденные характеристики процессов триерной очистки зерна. Однако, для эффективного управления работой триеров необходимы знания об интенсивности выделения частиц зерносмеси и степени заполнения ячей по длине рабочей поверхности. Кроме того необходимы знания о взаимосвязях режимов работы и настроечных параметров с качеством процесса. Получение этих результатов было ограничено использованием авторами пространственной модели процесса триерной очистки зерна, которая не позволяла связать изменчивые показатели работы с временем смещения зернового сегмента по длине ячеистой поверхности. Разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН новая физическая модель процесса и средства для ее реализации [11 – 15] позволили устранить эти противоречия за счет его непрерывного интервально-временного контроля по результативным характеристикам. При этом обеспечивалась объективность оценок, кардинальное сокращение затрат и инвариантность результатов относительно длины ячеистой поверхности. С использованием новой физической модели впервые получены значения о закономерностях протекания процесса по длине ячеистой поверхности и специфических эффектах, значимо влияющих на него [16, 17]. Эти исследования выполнены применительно к процессам триерной очистки зерносмеси на основе пшеницы. Физико-механические свойства ячменя существенно отличаются от свойств пшеницы, а объем его производства в России составляет 8 – 10 млн. тонн в год. Поэтому расширение знаний по видам зерновых материалов, необходимых для управления технологиями их триерной очистки, представляет собой актуальную задачу.

Материалы и методы. В работе использовались приборы для разделения зерносмесей и определения физико-механических свойств сыпучих материалов, методы идентификации производительности триера по результатам стендовых исследований и расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности, решетный классификатор и электронные весы.

Результаты и их обсуждение. Основная серия опытов проводилась с использованием стенда циклического действия [13, 14], обеспечивающего реализацию временной физической модели процесса разделения зерносмесей. В этой серии опытов сохранялись величины навески на уровне $m_н$ = 1000 г и исходной засоренности − $З_и$ = 2 %. Скоростной режим работы (n) менялся на четырех уровнях в диапазоне n = 40 – 55 об/мин с интервалом в 5 об/мин, а угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно горизонта (γ_n) − на трех уровнях в диапазоне 35 – 55°. Физико-механические свойства семян гречишки вьюнковой следующие: насыпная плотность – 467 кг/м^3; линейные размеры – 3,42 х 2,68 х 2,51 мм; угол внутреннего трения – 34,2°; влажность – 12,5%; масса 1000 семян – 7,0 г.

Экспериментальными исследованиями было установлено, что процесс выделения гречишки вьюнковой из ячменя носит лавинообразный характер из-за эффекта ее динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента, когда основная масса примеси выделяется на начальных интервалах времени замеров, рисунок 1. Поэтому семена гречишки вьюнковой можно отнести к легковыделяемым примесным компонентам.

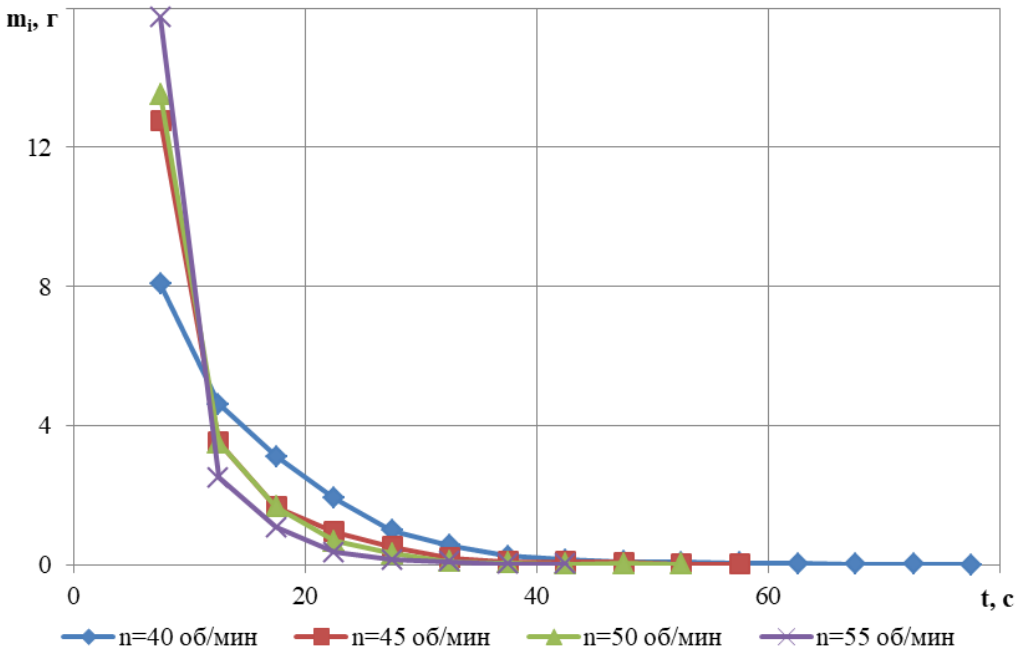


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности выделения гречишки вьюнковой (m_i) от времени (t) при различных скоростных режимах (n), ($З_и$ = 2 %; γ_n = 35°)

Из рисунка 1 видно, что при γ_n = 35° продолжительность процесса выделения примеси сокращается с ростом скоростного режима работы (n). Уже при n = 45 об/мин максимальную степень выделения примеси обеспечивает стандартная длина (l = 2,2 м) ячеистой поверхности. С увеличением n до 55 об/мин, что соответствует величине коэффициента кинематического режимам K = 0,508, продолжительность выделения примеси сокращается дополнительно на 27,3%.

При положении верхней кромки передней стенки выводного лотка под углом к горизонту γ_n = 45° и скоростном режиме работы n = 40 об/мин стандартная длина ячеистой поверхности обеспечивает выделение лишь 98,5 % примеси. Хотя уровень остаточной засоренности зерносмеси при этом является приемлемым и составляет – $З_{о_{ст}}$ = 0,03 %. Увеличение n до 45 об/мин повышает степень выделения примеси до 99,1 %, а при n = 55 об/мин $С_{в_{ст}}$ = 100 % даже при частичном использовании рабочей длины стандартного ячеистого цилиндра (73 % – 1,6 м).

Ранее нами установлено [17], что для снижения технологических потерь необходимо увеличивать γ_n, но при этом снижается степень выделения примеси на сопоставимой длине ячеистого цилиндра. Исследованиями зерносмеси на основе ячменя подтверждено, что при n = 40 об/мин и γ_n = 55° степень выделения примеси снижается до $С_{в_{ст}}$ = 71,3 %, а продолжительность процесса увеличивается почти в 2 раза. Вместе с тем, при больших величинах γ_n снижаются технологические потери ($П$) во всем диапазоне скоростного режима работы (рисунок 2) и увеличивается продолжительность процесса.

Из рисунка 2 видно, что захват и выброс зерновок основной культуры ячеями представляет собой случайный процесс. Большая часть факела выброса попадает в выводной лоток при γ_n= 35°. В этом положении верхней кромки выводного лотка с ростом n в диапазоне 40 – 55 об/мин технологические потери возрастают в 4,6 раза. При γ_n= 45° и 55° соответствующий прирост технологических потерь с ростом скоростного режима работы ниже – в 5 и 1,25 раза

соответственно. Это связано с тем, что верхняя граница факела выброса примесных частиц с ростом скоростного режима работы прирастает менее интенсивно. Вместе с тем, абсолютные значения потерь находятся в допустимых пределах.

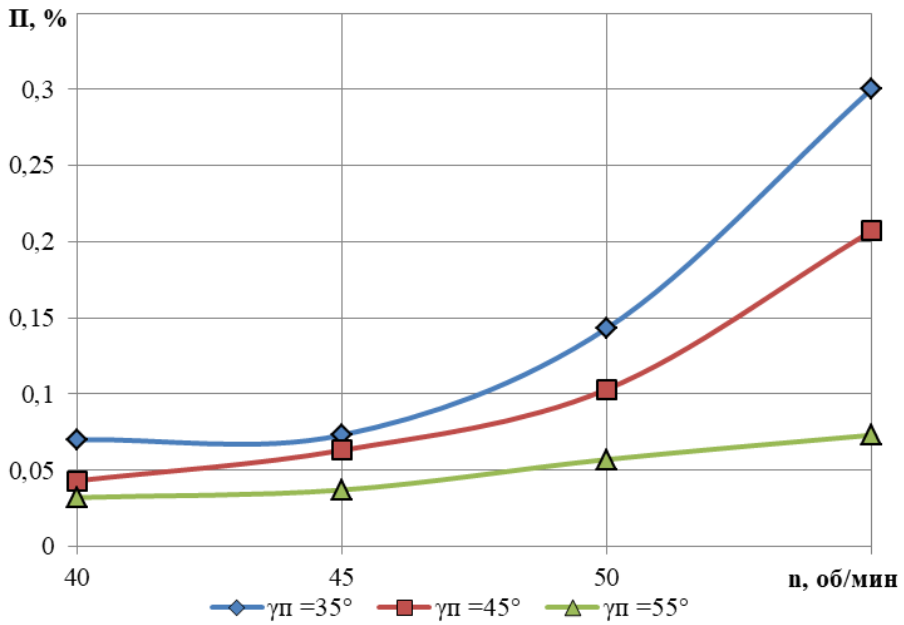


Рисунок 2 – Зависимость технологических потерь (*П*) от скоростного режима (*n*) при выделении гречишки вьюнковой из ячменя ($З_и$ = 2 %; $m_н$ = 1000г)

Выше была дана оценка динамики и качества процесса выделения семян гречишки вьюнковой в зависимости от скоростного режима работы (*n*) и положения выводного лотка (γ_n). Однако, из выполненного анализа можно заметить, что смена условий протекания процесса приводит к неоднозначным соотношениям выделяемых масс примеси по длине ячеистой поверхности. Например, из рисунка 1 видно, что в первом интервале времени замеров при γ_n = 35° и максимальном скоростном режиме (*n* = 55 об/мин) величина m_i в 1,95 раз больше, чем m_i на минимальном скоростном режиме (*n* = 40 об/мин). Во втором интервале замеров соотношение m_i меняется на противоположное и составляет 0,54.

Из изложенного выше следует, что сравнение динамики объективнее производить по первым интервалам времени замеров, так как результаты в последующих интервалах зависят не только от заданных режимов работы и настроечных параметров, но и от остаточного содержания примесного компонента в зерносмеси. В приведенном выше сопоставлении, в частности, во втором интервале времени замеров в отводящий лоток подается больший по угловому размеру факел примесных частиц, но причина снижения m_i состоит в другом – плотность факела резко падает после первого интервала времени реализации процесса.

Результаты сравнения динамики процессов по первым интервалам времени измерений представлены на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что при минимальном скоростном режиме работы зависимость масс выделенных частиц примесного компонента от величины γ_n самая большая. С увеличением γ_n от 35 до 55° разница величин $m_{i(1)}$ падает в 5,76 раз. Это объясняется тем, что при *n* = 40 об/мин лишь малая часть факела выброса частиц преодолевает верхнюю кромку передней стенки выводного лотка, расположенную под углом γ_n = 55° к горизонту.

При этом продолжительность процесса резко увеличивается. За 200 с, когда эквивалентная длина ячеистой поверхности составляет 8 м (в 3,6 раз больше длины стандартного кукольного цилиндра), выделяется 97,5 % примеси из зерносмеси с исходной засоренностью 2 %. На стандартной длине выделяется только 71,3 % примеси, а остаточная засоренность составляет 0,574 %, что превышает допустимый уровень.

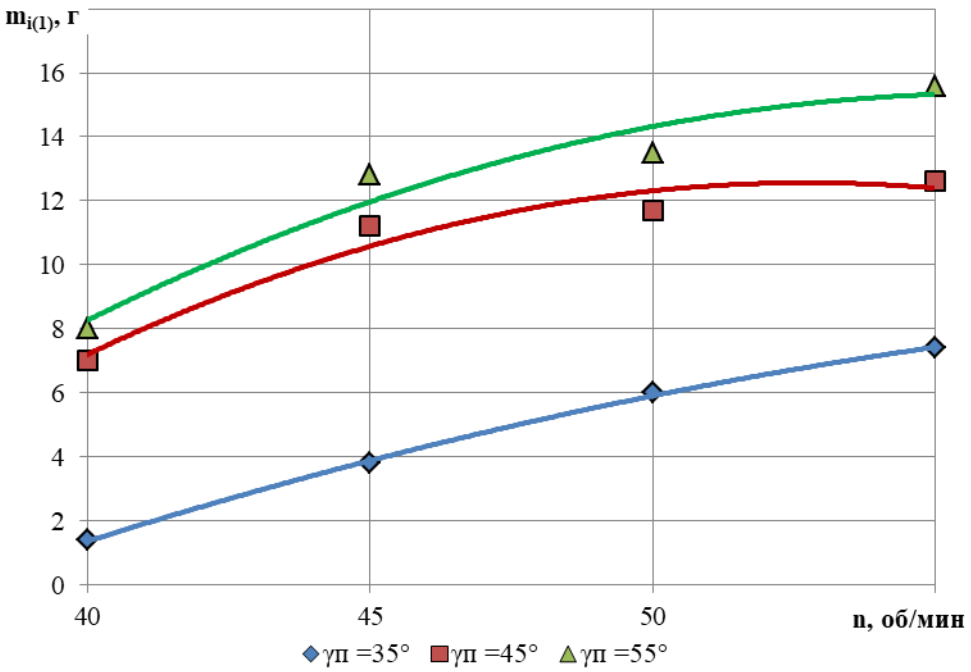


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности выделения гречишки вьюнковой в первом интервале времени замеров ($t_и$ = 5 с) от n и $\gamma_п$ при $m_н$ = 1000 г, $З_и$ = 2 %

С ростом скоростного режима работы до 55 об/мин величина $m_{i(1)}$ меняется в более узком диапазоне – в 2,15 раз. При $\gamma_п = \gamma_{п\ min} = 35°$ величина $m_{i(1)} = m_{i(1)\ max} = 15{,}72$ г. То есть, выводной лоток в этом режиме охватывает максимальный по угловому размеру факел выброса примесных частиц. Степень выделения примесей на стандартной длине достигает 99,55 %, что при $З_и$ = 2 % обеспечивает уровень остаточной засоренности $З_{о_{ст}}$ = 0,009 %.

Выводы. Семена гречишки вьюнковой являются легковыделяемой примесью из зерносмеси на основе ячменя. Для них характерна высокая степень динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента, поэтому основная доля примеси выделяется в первых интервалах времени замеров. При малых углах подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка полное выделение примеси из ячменя достигается даже на среднем скоростном режиме работы триера и частичном использовании рабочей длины стандартного ячеистого цилиндра. С увеличением угла поворота выводного лотка снижаются технологические потери, но увеличивается продолжительность процесса.

Список литературы

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

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

3. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра / Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз. – 1950. – Вып. 7.

4. Блох З.Ш. Теория триера // Сельскохозяйственные машины. – 1935. – № 2. – С. 17 – 20.

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

6. Павловский Г.Т. Экспериментальное обоснование выбора параметров цилиндрических триеров // Сборник трудов по земле-дельческой механике. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1952. – С. 231 –248.

7. Абидуев А.А. Определение положения лотка триерного цилиндра // Сибирского вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 5. – С. 93 – 98.

8. Викторова Н.Н., Ивлиева Н.М., Кубышев В.А. Влияние параметров цилиндрического триера на эффективность его работы // Труды ВНИИЗ. – Вып. 42. – 1962. – С. 245 – 253.

9. Викторова Н.Н., Кубышев В.А. Влияние подпорного кольца на вычерпываемость короткой фракции в триерном цилиндре // Труды ЧИМЭСХ Челябинск. – 1958. – Вып. 6.

10. Викторова Н.Н., Ивлиева Н.М., Кубышев В.А. Основные закономерности процесса работы цилиндрического триера. Проблемы сепарирования зерна и сыпучих материалов // Труды ВНИИЗ. – М. – 1963. – Вып. 42. – С. 255 – 265.

11. Патент РФ № 2492940. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амельянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А. – № 2012112301/03; заявл. 29.03.2012; опубл. 20.09.2013. – Бюл. № 26.

12. Патент РФ № 2492941. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Амельянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. – № 2012113207/03; заявл. 04.04.2012; опубл. 20.09.2013. – Бюл. № 26.

13. Патент РФ № 2616201. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2016108182; заяв. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017. – Бюл. № 11.

14. Патент РФ № 2647526. Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017; опубл. 16.03.2018. – Бюл. № 8.

15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей – «ТИАН – 1» // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4 – 5.

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

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

References

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

2. Letoshnev M.N. Teorija triera / Sbornik nauchno-tehnicheskih rabot Leningradskogo instituta mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – L. – 1948. – Vyp. IV. – S. 3 – 58.

3. Letoshnev M.N. O dvizhenii zerna vnutri gorizontal'nogo vrashhajushhegosja cilindra / Sbornik nauchno-tehnicheskih rabot Leningradskogo instituta mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Sel'hozgiz. – 1950. – Vyp. 7.

4. Bloh Z.Sh. Teorija triera // Sel'skohozjajstvennye mashiny. – 1935. – № 2. – S. 17 – 20.

5. Urhanov N.A. Intensifikacija posleuborochnoj obrabotki i ochistki zerna ot primesej po dline. – Ulan-Udje: Izd-vo VSGTU. – 1999. – 319 s.

6. Pavlovskij G.T. Jeksperimental'noe obosnovanie vybora parametrov cilindricheskih trierov // Sbornik trudov po zemle-del'cheskoj mehanike. – M. – L.: Sel'hozgiz, 1952. – S. 231 –248.

7. Abiduev A.A. Opredelenie polozhenija lotka triernogo cilindra // Sibirskogo vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki. – 2009. – № 5. – S. 93 – 98.

8. Viktorova H.H., Ivlieva N.M., Kubyshev V.A. Vlijanie parametrov cilindricheskogo triera na jeffektivnost' ego raboty // Trudy VNIIZ. – Vyp. 42. – 1962. – S. 245 – 253.

9. Viktorova H.H., Kubyshev V.A. Vlijanie podpornogo kol'ca na vycherpyvaemost' korotkoj frakcii v triernom cilindre // Trudy ChIMJeSH Cheljabinsk. – 1958. – Vyp. 6.

10. Viktorova H.H., Ivlieva N.M., Kubyshev V.A. Osnovnye zakonomernosti processa raboty cilindricheskogo triera. Problemy separirovanija zerna i sypuchih materialov // Trudy VNIIZ. – M. – 1963. – Vyp. 42. – S. 255 – 265.

11. Patent RF № 2492940. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Amel'janc A.G., Tishaninov M.A., Rastjushevskij K.A. – № 2012112301/03; zajavl. 29.03.2012; opubl. 20.09.2013. – Bjul. № 26.

12. Patent RF № 2492941. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Amel'janc A.G., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Rastjushevskij K.A. – № 2012113207/03; zajavl. 04.04.2012; opubl. 20.09.2013. – Bjul. № 26.

13. Patent RF № 2616201. Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2016108182; zajav. 09.03.2016; opubl. 13.04.2017. – Bjul. № 11.

14. Patent RF № 2647526. Pribor dlja vydelenija primesej iz zernosmesej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2017114302; zajavl. 24.04.2017; opubl. 16.03.2018. – Bjul. № 8.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizirovannyj pribor dlja vydelenija primesej iz zernosmesej – «TIAN – 1» // Sel'skij mehanizator. – 2019. – № 1. – S. 4 – 5.

16. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Intensivnost' vydelenija zernovok osnovnoj kul'tury iz zernosmesej s dlinnymi primesjami // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2019. – № 3 (47). – S. 74 – 77.

17. Anashkin A.V. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij dinamiki vydelenija korotkih primesej jacheistoj poverhnost'ju / V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii – novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva. XVIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. – 2015. – S. 92 – 96.

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.

Альшинайиин Хайдер Джамил Джабер – ведущий конструктор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

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.

Alshinayin Haider Jamil Jaber – leading designer of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 664.834
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53

ИННОВАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

[1]Иванова Эльвира Сергеевна
[2]Родионов Юрий Викторович
[2]Зорина Ольга Александровна
[2]Никитин Дмитрий Вячеславович
[2]Скоморохова Анастасия Игоревна
[2]Щегольков Александр Викторович
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Правильная переработка плодового, ягодного, овощного и травянистого сырья позволяет существенно повысить срок его хранения и облегчить транспортировку по всей стране. Одним из важных видов переработки растительного материала является его высушивание, Проведен анализ преимуществ и недостатков трех различных способов сушки: конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки (ДКВИС). Выявлена предпочтительность по качеству получаемого продукта и затратам использования двухступенчатой сушки. Ее преимущества подтверждены исследованиями сушеных растительных материалов на примере высушенной тыквы сорта «Мичуринская» по количеству витамина С, сумме каратанойлов, сахарозы, целостности сырья, равномерности сушки, времени развариваемости, доли влаги, внешним характеристикам. Приведен анализ химического состава сушеного перца сорта «Ласточка», показывающий, что двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка (ДКВИС) позволяет достигнуть наибольшего сохранения полезных компонентов. Получены кривые скорости сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский» при ДКВИС, первая ступень которой выполнена в виде конвективной лотковой сушилки, вторая – конвективного вакуумного шкафа. Предложены пути дальнейшей интенсификации ДКВИС путем применения теплоаккумулирующих элементов и внедрения частичной автоматизации, что позволяет снизить потери электроэнергии на 25 %. Разрабатывается ДКВИС, которая включает в себя сушилку с ленточным конвейером, дополнительную емкость для создания импульсов и вакуумный шкаф. В перспективах планируется использовать инфракрасное излучение в обогревателе сушилки с ленточным конвейером, что позволит осуществлять кондуктивный нагрев лотков.*

Ключевые слова: *конвективная сушка, сублимационная сушка, двухступенчатой конвективная вакуум-импульсной сушка, растительный материал.*

INNOVATIVE CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGIES FOR DRYING FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS

[1]Ivanova Elvira
[2]Rodionov Yuri
[2]Zorina Olga
[2]Nikitin Dmitry
[2]Skomorokhova Anastasia
[2]Schegolkov Alexander
[1]FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *Correct processing of fruit, berry, vegetable and herbaceous raw materials can significantly increase its shelf life and facilitate transportation throughout the country. One of the important types of processing of plant material is its drying. An analysis of the advantages and disadvantages of three different drying methods: convective, sublimation and two-stage convective*

vacuum-impulse drying (DCVIS) was carried out. The preference for the quality of the obtained product and the cost of using two-stage drying has been revealed. Its advantages are confirmed by studies of dried plant materials on the example of dried pumpkin variety "Michurinskaya" by the amount of vitamin C, the amount of caratanoils, sucrose, the integrity of raw materials, uniformity of drying, digestion time, moisture content, external characteristics. Analysis of the chemical composition of dried peppers of the Lastochka variety, showing that two-stage convective vacuum-impulse drying (DKVIS) allows achieving the greatest preservation of useful components, is given. The curves of the drying rate of garlic variety "Yubileiny Gribovsky" at DKVIS, the first stage of which is made in the form of a convective tray dryer, the second - a convective vacuum cabinet, were obtained. Ways to further intensify DKVIS through the use of heat storage elements and the introduction of partial automation, which allows to reduce energy losses by 25 %, have been proposed. DKVIS, which includes a dryer with a belt conveyor, an additional vessel for generating pulses and a vacuum cabinet, is being developed. Infrared radiation in the heater of the dryer with a belt conveyor is planned to be used in the future, which will allow conductive heating of the trays.

Keywords: *convective drying, freeze drying, two-stage convective vacuum-impulse drying, plant material.*

Введение. Одной из важнейших задач отраслей сельскохозяйственной промышленности является обеспечение населения страны здоровым питанием, так как оно оказывает сильное влияние на иммунитет и внешний вид человека. Для этого необходимо круглогодично осуществлять поставку плодового, ягодного, овощного и травянистого сырья различных регионов произрастания. Необходимость изучения способов консервирования материалов растительного происхождения обусловлена низким сроком хранения, который может варьироваться от нескольких часов до 3 – 5 месяцев. Причем важно создавать условия, при которых не будет происходить утрата биологической и энергетической ценности в овощах, фруктах, ягодах, зелени, грибах и пр. с последующим переносом всех полезных компонентов в пищевые продукты.

Для решения этой проблемы, а также для облегчения транспортировки, растительный материал подвергают различным видам переработки, среди которых особый интерес представляет сушка. Процесс сушки заключается в удалении влаги (воды) с целью получения остаточного влагосодержания ниже некоторого предела, при котором возможно развитие микроорганизмов, что способствует значительному увеличению сроков хранения. Важно также отметить, что высушенный материал занимает меньше места по сравнению с исходным, поэтому упрощаются задачи транспортировки на дальние расстояния. Кроме того, из сухого сырья можно получать растительный порошок, который в дальнейшем используется в качестве полезных добавок в продукты питания ежедневного рациона [1, 2].

Процесс удаления влаги имеет свои особенности, которые отражаются при построении кинетических кривых сушки. Условия его протекания во многом отражаются на качестве готового продукта, поэтому выбору режимных параметров сушки уделяется большое внимание.

Цель работы – исследование основных закономерностей процесса удаления влаги из плодов, овощей и растительного сырья при конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке. Сравнение перечисленных видов сушки с целью выявления наиболее оптимальной. Определение путей интенсификации процесса сушки.

Материалы и методы. Для разработки инновационной технологии сушки необходимо изучение теоретических основ процесса сушки, основанного на законах тепло- и массообмена. Необходимо определить факторы, оказывающие влияние на протекание процесса сушки, и способы повышения его эффективности.

В настоящее время большое количество работ посвящено инновационным направлениям сушки плодоовощного сырья, конструкциям применяемого оборудования и технологиям получения готового продукта [3 – 6].

Подбор способа сушки, конструктивных особенностей аппарата, физической и математической модели, описывающей кинетику процесса удаления влаги, способа интенсификации в большой мере определяется кинетическим режимом сушки. Поэтому анализировать процесс сушки растительных материалов целесообразно основываясь на кинетические параметрах, которые отображаются через кривые сушки [7 – 10].

Результаты и их обсуждение. Растительные материалы в зависимости от химико-биологического и структурного строения растительных материалов могут иметь выраженный или условный первый период сушки, например, яблоки [11, 12].

Если в растительном материале нет выраженного первого периода, то температура данного материала выдерживается все время ниже температуры денатурации основных биологически активных веществ (БАВ). При двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке время в конвективной ступени выбирается по условной конечной влажности 45 – 55 % (принимаем 50 %) от общего влагосодержания. Интенсификация конвективной сушки дополнительно осуществляется осциллирующим режимом, а также дополнительными импульсами.

Для сравнения инновационных способов сушки рассмотрим конвективную сушку, ДКВИС и сублимационную сушку растительного материала.

Двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка ДКВИС состоит из следующих двух периодов. Первый период – ступень конвективная сушка различных типов (например, конвективная сушка во взвешенном закрученном слое). Вторая ступень – конвективная вакуум-импульсная сушка. Она подразделяется на фазы нагрева продувкой, вакуумирования и вакуумную сушку с последующей продувкой высушиваемого материала. Временное соотношение фаз выбирается, исходя из требуемого конечного влагосодержания продукта. Сублимационная сушка включает замораживание продукта до температуры, которая будет ниже точки затвердевания высушиваемого материала, после чего осуществляется сублимация – удаление водяного льда или кристаллов растворителя при низкой отрицательной температуре, что является непосредственным процессом сушки [13]. После завершения сублимации льда, дальнейшая сушка протекает при температуре выше 0°С.

Основным показателем экономической эффективности процесса сушки является требуемая для его осуществления энергия. Заморозка продукта при сублимационной сушке происходит обдуванием его воздухом при температурах ниже 0°С со скоростью 3…5 м/с. Указанные величины скорости потока воздуха в воздухоохладителях обеспечивают за счет применения мощных вентиляторов, которые в свою очередь выделяют некоторое количество теплоты в процессе работы. Эту теплоту необходимо компенсировать дополнительными затратами энергии на выработку холода. Такой вид сушки обеспечивает получение высококачественного конечного продукта, но при этом он будет обладать высокой себестоимостью [14]. Для конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки затраты энергии значительно меньше, к тому же их можно дополнительно снизить в ДКВИС за счет применения тепловых аккумуляторов, а также введения дополнительного жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН) меньшей быстроты действия [15]. Важно отметить, что дальнейшие работы по модернизации ЖВН позволят существенно сократить затраты мощности [16 – 17].

В таблице 1 приведены расчетные данные, по которым проводился сравнительный анализ энергетических затрат при конвективной, сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке.

Таблица 1 – Характеристические показатели для сравнения различных видов сушки

№	Сравниваемые показатели	Вид сушки		
		Сублимационная	Конвективная	ДКВИС
1	Время, ч	2,5	5	2
2	Энергоемкость, кВт/ч/кг	1,6	2	1,6
3	Энергопотребление (1*2)	4	10	3,2
4	Стоимость электроэнергии	1	1	1
5	Потребление газа	-	-	1
6	Затраты на используемое сырье	1	1	1
7	Суммарная себестоимость процесса (3*4+5*6)	5	11	4,2

Таблица 1 наглядно показывает, что двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка требует наименьших затрат энергии, вследствие чего себестоимость процесса по этому показателю также будет наименьшей.

В таблице 2 показаны результаты сравнения способов сушки по характеру проведения обработки, физико-химическим показателям и внешнему виду получаемого продукта (на примере высушенной тыквы сорта «Мичуринская» [18]).

Таблица 2 – Характеристика различных видов сушки по характеру проведения обработки и качеству сушеного продукта

Сравниваемый показатель	Вид сушки		
	ДКВИС	Конвективная	Сублимационная
Количество витамина С после высушивания, мг %	96,90	55,60	86,30
Сумма каратинойдов после высушивания, мг %	30,73	28,14	30,20
Содержание сахарозы после высушивания, %	4,92	4,80	4,88
Сохранение целостности сырья при сушке	Сохранение частиц сырья	Выдувание частиц сырья	Сохранение частиц сырья
Равномерность производимой обработки высушиваемого сырья	Поверхностный и объемный нагрев	Поверхностный нагрев	Поверхностный нагрев
Время развариваемости, мин	2-5	10-15	5-8
Массовая доля влаги, %	10,00	11,12	10,00
Консистенция и внешние характеристики сушеного продукта	Частицы целые, сухие, слегка хрупкие на изломе, слегка пористые, поверхностный каркас тонкий	Частицы целые, сухие, на изломе слегка слоистые, поверхностный каркас сильно выраженный, плотный	Частицы целые, сухие, на изломе слегка хрупкие, пористые, поверхностный каркас выраженный
Цвет конечного продукта	Оранжевый, однородный, яркий насыщенный	Оранжевый, неоднородный, насыщенный, присутствуют частицы красно-коричневого цвета	Оранжевый, однородный, яркий насыщенный
Степень обеззараживания	Полное	Частичное	Полное

Из таблицы видно, что результаты по предъявляемым для сравнения показателям при сушке на ДКВИС соответствуют получаемому продукту лучшего качества, как по количеству полезных компонентов, так и по внешнему виду.

Необходимо отметить, что для проведения сублимационной сушки требуется обеспечение ряда условий, таких как:

- в продукте в твердом агрегатном состоянии содержание влаги должно быть не менее 70%;
- поддержание достаточной разницы парциальных давлений паров воды в окружающей среде и продукте, который подвергается сушке.

Чтобы осуществить процесс двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки достаточно лишь поддерживать определенное значение глубины создаваемого вакуума, которое необходимо для того, чтобы обеспечить более эффективное течение процесса. Это делает ДКВИС наиболее предпочтительной среди рассматриваемых способов.

Таблица 3 – Качество высушенного перца сорта «Ласточка» при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной и конвективной сушке

Сравниваемый показатель	До сушки	После сушки	
		ДКВИС	Конвективная
Содержание каратина, мкг/%	1450,00	6810,00	5660,00
Сумма усвояемых углеводов, %	4,80	29,50	27,30
Количество сухих веществ, %	9,10	91,40	89,30
Содержание пищевых волокон, %	1,90	11,70	10,60
Общее количество золы, %	0,60	3,63	3,54
Содержание белка, мг/%	1,30	6,60	4,20
Количество органических кислот, %	0,10	0,50	0,40
Антиоксидантная активность, мг рутина в 100 г водного экстракта*	116,40	185,60	164,70
Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С), мг/%*	215,00	253,50	109,40

* - данные получены при участии сотрудников ВНИИ овощеводства

В таблице 3 приведено сравнение показателей качества сушеного продукта при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке на примере сушки сладкого перца сорта «Ласточка».

Анализ изменения химического состава в процессе сушки свидетельствует о том, что наибольшее сохранение качества после проведения сушки получено при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке. Причем по сохранению суммы усвояемых углеводов, антиоксидантной активности, витамина С, каротина и белка были получены наиболее хорошие результаты. Также лучшие показатели развариваемости и набухаемости материала достигаются при использовании ДКВИС, для которой их время составляет 2 – 3 мин. и 5 мин. соответственно.

Аналогичные исследования были проведены для тыквы «Мичуринская», топинамбура «Интерес», пастернака «Кулинар», иссопа «Лекарственный», крапивы «Двудомная», чеснока «Юбилейный Грибовский» и других растительных материалов, произрастающих в Центральном Черноземье. По конечным результатам также было выявлено, что наилучшие качественные показатели готового продукта соответствуют продукту, высушенному при двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке [19 – 23].

На графиках, представленных на рисунке 1, показаны зависимости влагосодержания от времени сушки при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке чеснока сорта «Юбилейный Грибовский».

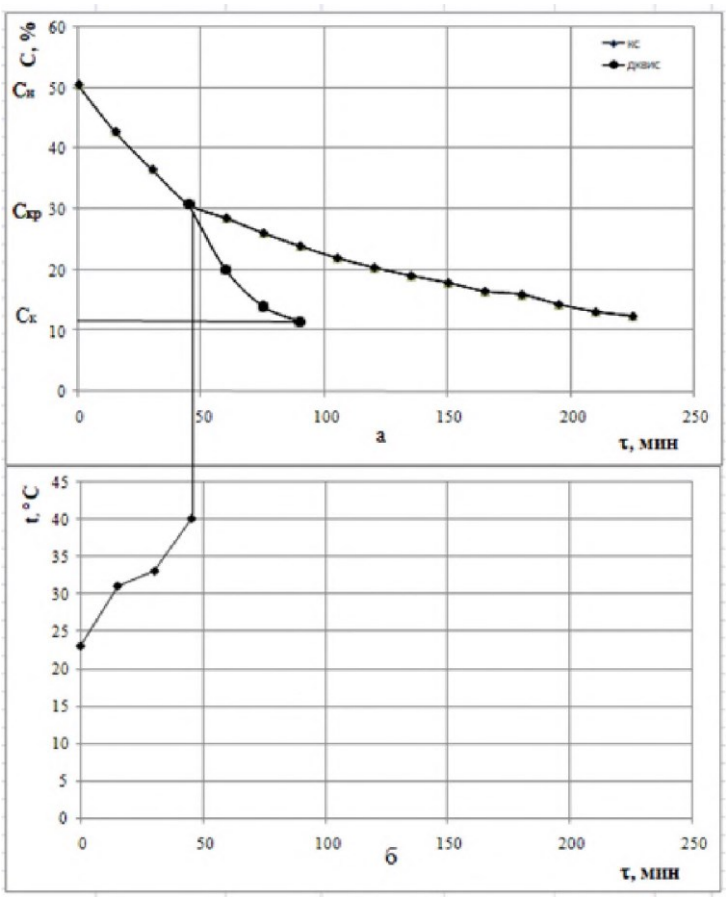


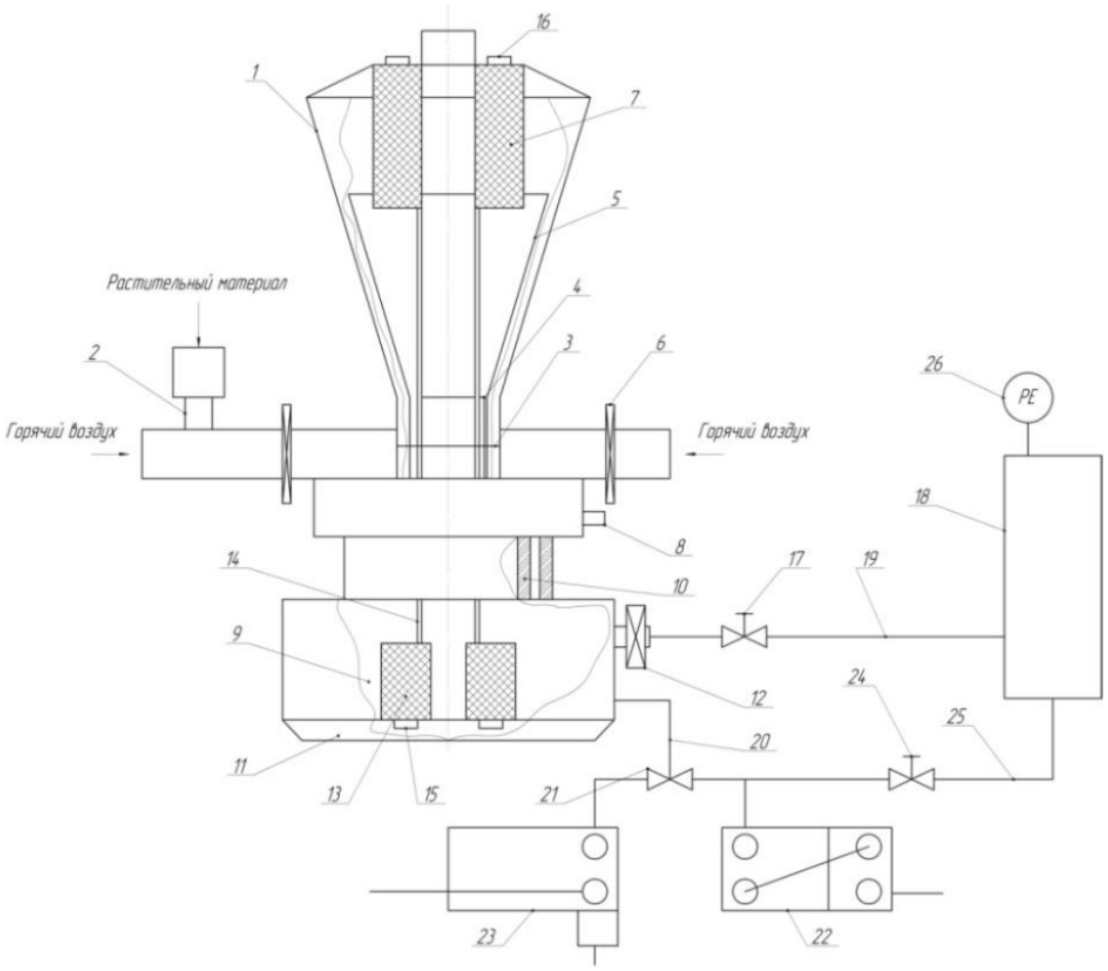
Рисунок 1 – Кривые сушки (а) и температуры (б) конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский»

Сушка растительных продуктов сопровождается некоторыми типичными физическими явлениями – усадкой, «взрыванием», агломерацией, кристаллизацией и т.д. Неправильный выбор режима сушки может привести к необратимому ухудшению качества продукта и, как следствие,

ухудшению дальнейшей его реализации. Одним из условий выбора оптимального аппарата для сушки плодов и овощей является возможность регидратирования (восстановление) структуры растительных продуктов после высушивания. При сублимационной сушке на стадии заморозки не исключается нарушение клеточной структуры продукта из-за расширения содержащейся в сырье влаги, что при восстановлении превращает продукт в бесформенную и размягченную массу.

Улучшения свойств при сушке можно добиться предварительной или промежуточной обработкой: мойка, бланкирование, обработка импульсами и т.д.

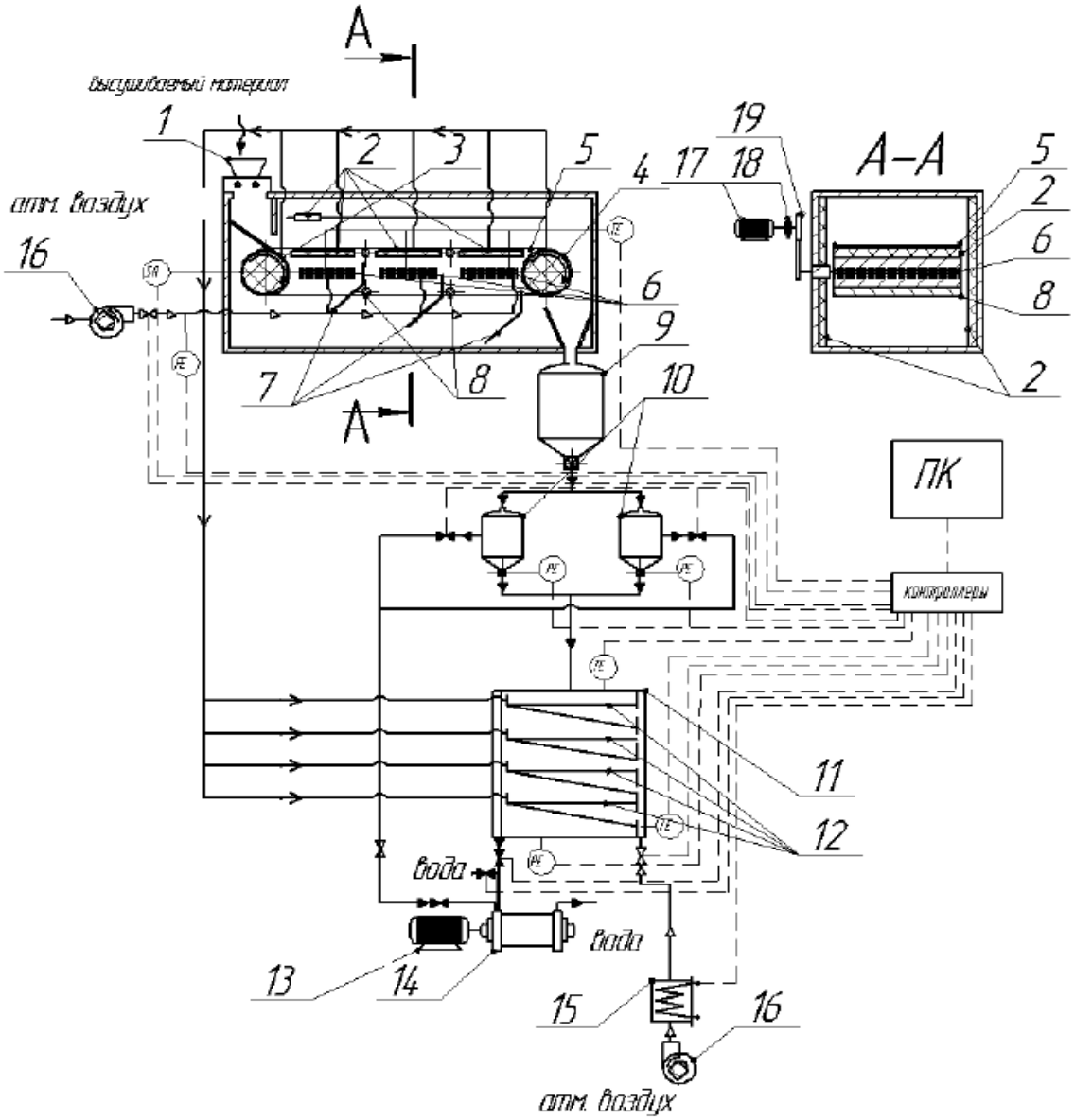
При сушке горячим воздухом в растительных материалах происходят структурные изменения, которые значительно ухудшают качество готового сухого растительного продукта. Поэтому необходимо производить низкотемпературную сушку при щадящих режимах. Для различных размеров кусков растительных материалов, что достаточно важно при выполнении полной переработки, эффективно первую ступень выполнять в виде сушилки с взвешенным слоем (рисунок 2) [24].



1 – цилиндроконическая камера; 2 – питатель; 3 – барабан; 4 – цилиндрическая вставка; 5 – коническая вставка; 6 – шаровые затворы; 7 – тепловой аккумулятор (емкость); 8 – герметичный затвор; 9 – цилиндрическая камера второй ступени; 11 – герметичная крышка; 12 – вакуумная система; 13 – емкость (тепловой аккумулятор); 14 – тепловые трубы; 15 – люки; 16 – люки; 17 – автоматический клапан; 18 – ресивер; 19 – трубопровод; 20 – трубопровод; 21 – трехходовой клапан; 22 – вакуумный насос; 23 – нагнетательное окно; 24 – регулируемый вентиль; 25 – трубопровод; 26 – датчик разряжения

Рисунок 2 – Конструкция энергоэффективной конвективной вакуум-импульсной сушильной установки с теплоаккумулирующими элементами

Повышения энергоэффективности технологического процесса ДКВИС можно достичь путем применения наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов. Были разработаны два типа установок для сушки, оснащенных тепловыми аккумуляторами. Они представлены на рисунках 2 и 3 [25].



1 – питатель; 2 –теплоаккумулирующие элементы; 3 – приводной барабан первой ступени; 4 – натяжной барабан первой ступени; 5 – перфорированная лента конвейера; 6 – газовые горелки; 7 – направляющие потока воздуха; 8 – ролики для опоры; 9 –промежуточная емкость; 10 – емкости для создания импульсов; 11 – сушильный вакуумный шкаф; 12 – лотки; 13 – электродвигатель; 14 – жидкостнокольцевой вакуумный насос; 15 – калорифер; 16 – воздуходувки; 17 – электродвигатель привода ленточного конвейера; 18 – упругая муфта; 19 – цилиндро-червячный редуктор

Рисунок 3 – Схема технологического процесса ДКВИС растительного материала с применением теплоаккумулирующих элементов

Технологическая схема второго варианта сушки включает в себя ленточный конвейер для транспортировки высушиваемого продукта. Кроме того, здесь внедрена частичная автоматизация путем использования персонального компьютера с программным обеспечением, разрабатываемым на основе принципов оптимизации режимов температуры для проведения процесса сушки растительных материалов.

Теплоаккумулирующие элементы устанавливаются в оборудование именно там, где возникает необходимость осуществления регулировки температурных режимов, и могут изготавливаться различных типоразмеров. Разработанная технологическая схема сушки позволяют достичь сокращения потерь электроэнергии соответственно на 20 и 25% для первого и второго типов сушильных установок.

Интерес представляет изучение процесса сушки частей плодовой, ягодной, овощной и травянистой продукции для последующей разработки комплексной, безотходной технологии переработки с целью получения расширенного ассортимента разнообразных продуктов пищевой и фармацевтической промышленности (экстрактов, порошков, хлопьев и т.д.). Для дальнейшего повышения интенсивности сушки ДКВИС будет проводиться внедрение инфракрасного излучения в обогреватель сушилки с ленточным конвейером, который сделает возможным осуществление кондуктивного нагрева лотков, а также оснащение установки дополнительной емкостью для сухих импульсов после первой ступени и вакуумного сушильного шкафа на второй ступени.

Заключение.

1. Проведен литературный анализ инновационных направлений сушки плодоовощного сырья, конструкций применяемого оборудования и технологий получения готового продукта.
2. Представлено сравнение перспективных методов сушки растительных материалов, по результатам которого выявлено, что наиболее предпочтительным является двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка.
3. Приведены кривые сушки и качественный анализ высушенного продукта при конвективной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушке.
4. Определены основные пути проведения дальнейшей интенсификации двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки для разработки технологии комплексной безотходной переработки растительного сырья, которая будет включать в себя первую ступень с ленточным конвейером и теплоаккумулирующие элементы.

Список литературы

1. Betoret E., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Rosa M.D. Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. // J. del R. B. T.-S. D. T. Olvera, Ed. Rijeka: InTech. – 2016. – Ch. 03. – Pp. 37 – 58.
2. Родионов Ю.В., Ломакина О.В., Никитин Д.В., Чумиков Ю.А., Ратушный А.С., Данилин С.И., Родионов Ю.Ю. Проблемы и перспективы производства растительных порошков // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 1 (27). – С. 69 – 77.
3. Vishwanathan K.H., Giwari G.K., Hebbar H.U. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. // Food and Bioproducts Processing. – 2013. – V. 91. – Pp. 89 – 94.
4. Rachna Sehrawat, Prabhat K. Nema, Bajinder Pal Kaur. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. // LWT – Food Science and Technology. – V. 92 – June 2018. – Pp. 548 – 555.
5. Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M. and etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs // Foods – 2020. –№ 9. – 1261.
6. Zhang M., Bhandari B., Fang Z. Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products. – CRC Press, Boca Raton. – 2017. – 517 pp.
7. Попова И.В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Мичуринск. – 2009. – 161 с.
8. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. – Тамбов. – 2019. – 156 с.
9. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: дис. … канд. с.-х. наук: 05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых

культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства. – Мичуринск-наукоград. – 2016 – 152 с.

10. Коновалов В.И., Романков П.Г., Соколов В.Н. Описание кинетических кривых сушки и нагрева тонких материалов // Теоретические основы химической технологии. – 1975. – Т. 9. – № 2. – С. 203 – 209.

11. Рудобашта С.П., Дмитриев В.М. Экспериментальное исследование процесса конвективной сушки нарезанных яблок / Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием. – 2019. – С. 276 – 281.

12. Рудобашта С.П., Зуева Г.А., Дмитриев В.М. Исследование кинетики сушки материала, подверженного усадке / // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ – 2020: сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А.В. Лыкова. – 2020. – С. 116 – 121.

13. Гуйго Э.И., Журавская Н.К., Каухчешвили Э.И. Сублимационная сушка пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1966. – 360 с.

14. Родионов Ю.В., Попова И.В., Шацкий Д.А. Сравнительный анализ эффективности сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки / Труды международного технического семинара к 100-летию А.В. Лыкова. – Воронеж. – 2010. – С. 160 – 167.

15. Воробьев В.Б., Климов А.М., Родионов Ю.В., Преображенский В.А., Скворцов Д.В. Энергоэффективность двухступенчатой сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 3 (34). – С. 361 – 365.

16. Родионов Ю.В., Свиридов М.М., Никитин Д.В. Влияние конструктивно-технологических параметров на эффективность работы жидкостнокольцевых вакуум-насосов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50. – № 5. – С. 102 – 104.

17. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Т. 55. – № 5 – 6. – С. 473 – 479.

18. Пат. Селекционное достижение тыква крупноплодная Мичуринская (Cucurbita maxima Duch) / Ю.Г. Скрипников. № 2752. Заявл. 04.07.2000 г. Зарегистрирован в госреестре охраняемых селекционных достижений 14.06.2005 г.

19. Иванова Э.С., Скоморохова А.И., Кольцов В.А., Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В. Исследование процесса сушки топинамбура // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 77 – 85.

20. Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Данилин С.И., Митрохин М.А., Утешев М.В., Мочалин Н.Н., Родионов Ю.Ю. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошки для функционального питания // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3. – С. 214 – 220.

21. Самохвалов Д.С., Родионов Ю.В., Билан Н.В., Скоморохова А.И. Отработка режимов двухступенчатой конвективной вакуумно-импульсной сушки дайкона сорта «Хару» // Инновационная техника и технология. – 2020. – № 1 (22). – С. 42 – 48.

22. Иванова Э.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Данилин С.И., Ратушный А.С. Исследование и выбор режимных параметров сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский» // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 4. – С. 67 – 73.

23. Скоморохова А.И., Завьялов А.А., Родионов Ю.В., Зорин А.С. Разработка режима вакуумной сушки перца сорта «Ласточка» // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 3 (20). – С. 23 – 28.

24. Патент РФ № 2716056 C1, МПК F26B 17/10 F26B 5/04. Энергоэффективная конвективно-вакуум-импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами / Зорин А.С., Иванова И.В., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Щегольков А.В. – № 2019106971; заявл. 13.03.2019. – опубл. 06.03.2020. – Бюл. № 7.

25. Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Никитин Д.В., Зорин А.С. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов в системах сушки растительного сырья // Наука в центральной России. – 2020. – № 1 (43). – С. 43 – 50.

References

1. Betoret E., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Rosa M.D. Sustainable Drying Technologies for the Development of Functional Foods and Preservation of Bioactive Compounds. // J. del R. B. T.-S. D. T. Olvera, Ed. Rijeka: InTech. – 2016. – Ch. 03. – Pr. 37 – 58.

2. Rodionov Ju.V., Lomakina O.V., Nikitin D.V., Chumikov Ju.A., Ratushnyj A.S., Danilin S.I., Rodionov Ju.Ju. Problemy i perspektivy proizvodstva rastitel'nyh poroshkov // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitanija. – 2019. – № 1 (27). – S. 69 – 77.

3. Vishwanathan K.H., Giwari G.K., Hebbar H.U. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. // Food and Bioproducts Processing. – 2013. – V. 91. – Rr. 89 – 94.

4. Rachna Sehrawat, Prabhat K. Nema, Bajinder Pal Kaur. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. // LWT – Food Science and Technology. – V. 92 – June 2018. – Rp. 548 – 555.

5. Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M. and etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs // Foods – 2020. –№ 9. – 1261.

6. Zhang M., Bhandari B., Fang Z. Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products. – CRC Press, Boca Raton. – 2017. – 517 pp.

7. Popova I.V. Sovershenstvovanie tehnologii i sredstv sushki ovoshhnogo syr'ja: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Michurinsk. – 2009. – 161 s.

8. Zorin A.S. Sovershenstvovanie tehnologii i tehnicheskih sredstv kombinirovannoj vakuumnoj sushki rastitel'nogo syr'ja dlja proizvodstva chipsov: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – Tambov. – 2019. – 156 s.

9. Ivanova E.P. Razrabotka tehnologii prigotovlenija suhoj zakvaski na osnove rastitel'nogo syr'ja dlja proizvodstva hlebobulochnyh izdelij funkcional'nogo naznachenija: dis. … kand. s.-h. nauk: 05.18.01 – Tehnologija obrabotki, hranenija i pererabotki zlakovyh, bobovyh kul'tur, krupjanyh produktov, plodoovoshhnoj produkcii i vinogradarstva. – Michurinsk-naukograd. – 2016 – 152 s.

10. Konovalov V.I., Romankov P.G., Sokolov V.N. Opisanie kineticheskih krivyh sushki i nagreva tonkih materialov // Teoreticheskie osnovy himicheskoj tehnologii. – 1975. – T. 9. – № 2. – S. 203 – 209.

11. Rudobashta S.P., Dmitriev V.M. Jeksperimental'noe issledovanie processa konvektivnoj sushki narezannyh jablok / Importozameshhajushhie tehnologii i oborudovanie dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja: materialy I Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – 2019. – S. 276 – 281.

12. Rudobashta S.P., Zueva G.A., Dmitriev V.M. Issledovanie kinetiki sushki materiala, podverzhennogo usadke / // Sovremennye jenergosberegajushhie teplovye tehnologii (sushka i teplovye processy) SJeTT – 2020: sbornik nauchnyh trudov Sed'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 110-letiju so dnja rozhdenija Akademika A.V. Lykova. – 2020. – S. 116 – 121.

13. Gujgo Je.I., Zhuravskaja N.K., Kauhcheshvili Je.I. Sublimacionnaja sushka pishhevyh produktov. – M.: Pishhevaja promyshlennost'. – 1966. – 360 s.

14. Rodionov Ju.V., Popova I.V., Shackij D.A. Sravnitel'nyj analiz jeffektivnosti sublimacionnoj i dvuhstupenchatoj konvektivnoj vakuum-impul'snoj sushki / Trudy mezhdunarodnogo tehnicheskogo seminara k 100-letiju A.V. Lykova. – Voronezh. – 2010. – S. 160 – 167.

15. Vorob'ev V.B., Klimov A.M., Rodionov Ju.V., Preobrazhenskij V.A., Skvorcov D.V. Jenergojeffektivnost' dvuhstupenchatoj sushki rastitel'nogo syr'ja // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2011. – № 3 (34). – S. 361 – 365.

16. Rodionov Ju.V., Sviridov M.M., Nikitin D.V. Vlijanie konstruktivno-tehnologicheskih parametrov na jeffektivnost' raboty zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija. – 2007. – T. 50. – № 5. – S. 102 – 104.

17. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – T. 55. – № 5 – 6. – S. 473 – 479.

18. Pat. Selekcionnoe dostizhenie tykva krupnoplodnaja Michurinskaja (Cucurbita maxima Duch) / Ju.G. Skripnikov. № 2752. Zajavl. 04.07.2000 g. Zaregistrirovan v gosreestre ohranjaemyh selekcionnyh dostizhenij 14.06.2005 g.

19. Ivanova Je.S., Skomorohova A.I., Kol'cov V.A., Rodionov Ju.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V. Issledovanie processa sushki topinambura // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 2 (38). – S. 77 – 85.

20. Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Danilin S.I., Mitrohin M.A., Uteshev M.V., Mochalin N.N., Rodionov Ju.Ju. Tehnologija pererabotki pasternaka, tykvy i jablok v poroshki dlja funkcional'nogo pitanija // Problemy razvitija APK regiona. – 2018. – № 3. – S. 214 – 220.

21. Samohvalov D.S., Rodionov Ju.V., Bilan N.V., Skomorohova A.I. Otrabotka rezhimov dvuhstupenchatoj konvektivnoj vakuumno-impul'snoj sushki dajkona sorta «Haru» // Innovacionnaja tehnika i tehnologija. – 2020. – № 1 (22). – S. 42 – 48.

22. Ivanova Je.S., Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Danilin S.I., Ratushnyj A.S. Issledovanie i vybor rezhimnyh parametrov sushki chesnoka sorta «Jubilejnyj Gribovskij» // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitanija. – 2019. – № 4. – S. 67 – 73.

23. Skomorohova A.I., Zav'jalov A.A., Rodionov Ju.V., Zorin A.S. Razrabotka rezhima vakuumnoj sushki perca sorta «Lastochka» // Innovacionnaja tehnika i tehnologija. – 2019. – № 3 (20). – S. 23 – 28.

24. Patent RF № 2716056 C1, MPK F26B 17/10 F26B 5/04. Jenergojeffektivnaja konvektivno-vakuum-impul'snaja sushil'naja ustanovka s teplovymi akkumuljatorami / Zorin A.S., Ivanova I.V., Nikitin D.V., Rodionov Ju.V., Shhegol'kov A.V. – № 2019106971; zajavl. 13.03.2019. – opubl. 06.03.2020. – Bjul. № 7.

25. Rodionov Ju.V., Shhegol'kov A.V., Nikitin D.V., Zorin A.S. Primenenie nanomodificirovannyh teploakkumulirujushhih materialov v sistemah sushki rastitel'nogo syr'ja // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 1 (43). – S. 43 – 50.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Иванова Эльвира Сергеевна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: elvira-ivanova14@mail.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Зорина Ольга Александровна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: energynano@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Ivanova Elvira – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: elvira-ivanova14@mail.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Zorina Olga – graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Shchegolkov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: energynano@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 637.116.2:636.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-54-59

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НА СОСОК ЖИВОТНОГО ВО ВРЕМЯ ТАКТА СЖАТИЯ

[1]Доровских Владимир Иванович
[1]Жариков Вадим Сергеевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Выполнен анализ состояния проблемы обеспечения качества процесса доения животных, влияния конструктивно режимных параметров доильных аппаратов на физиологию животных. Рассмотрена априорная информация о методах и технических средствах определения и оценки процесса взаимодействия сосковой резины и соска при доении. На основе положений объединенной теории давления сосковой резины на сосок (американская модель) и классической теории оболочек определен характер изменения давления сосковой резины на сосок при смыкании во время такта сжатия, установлены граничные значения функции. Разработан способ, основанный на измерении давления на сосок конкретной сосковой резины с известными характеристиками и использовании этих данных для определения координат промежуточной точки зависимости давления на сосок от толщины стенок чулка. Характер зависимости представляет собой уравнение второго порядка, при этом давление сосковой резины на сосок с увеличением толщины стенок вначале увеличивается от нуля до максимума, а затем снижается и достигает нулевого значения в точке, где критическое давление равно рабочему вакууму. Для сосковой резины модели ДД 00.041А давление на сосок при различных значениях рабочего вакуума равно: 48 кПа – 9,6 кПа; 46 кПа – 9,5 кПа; 44 кПа – 9,4 кПа; 42 кПа – 9,3 кПа; 40 кПа – 9,2 кПа. Толщина стенки, при которой давление на сосок равно нулю при различных значениях рабочего вакуума составляет: 48 кПа – 4,30 мм; 46 кПа – 4,25 мм; 44 кПа – 4,19 мм; 42 кПа – 4,12 мм; 40 кПа – 4,06 мм. Полученная модель позволяет прогнозировать характер взаимодействия сосковой резины и соска при различных значениях конструктивных параметров доильного аппарата и режимов процесса доения.*

Ключевые слова: *доильный аппарат, сосковая резина, давление на сосок, критическое давление, деформация*

A STUDY OF THE IMPACT OF THE LINER MILKING MACHINE NIPPLE OF THE ANIMAL DURING THE COMPRESSION STROKE

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

Abstract. *The analysis of the state of the problem of ensuring the quality of the milking process of animals, the influence of the design and operating parameters of milking machines on the physiology of animals is carried out. A priori information on methods and technical means of determining and evaluating the process of interaction between the teat rubber and the teat during milking is considered. On the basis of the provisions of the combined theory of pressure teat rubber nipple (American model) and the classical shell theory, the character of the pressure change for the liner on the nipple at the closing during the compression stroke, the maximum value of the function. A method has been developed based on determining the pressure on the nipple of a specific nipple rubber with known characteristics and using this data to determine the coordinates of the intermediate point of the dependence of the pressure on the nipple on the thickness of the walls of the stocking. The nature of the dependence is a second-order equation, in which the pressure of the teat rubber on the teat with increasing wall thickness initially increases from zero to a maximum, and then decreases and reaches zero at the point where the critical pressure is equal to the working vacuum. For the nipple rubber model DD 00.041 A, the pressure on the nipple at different values of the working vacuum is equal to: 48 kPa – 9,6 kPa; 46 kPa – 9,5 kPa; 44 kPa – 9,4 kPa; 42 kPa – 9,3 kPa;*

40 kPa – 9,2 kPa. The wall thickness at which the pressure on the nipple is zero at different values of the working vacuum is: 48 kPa – 4.30 mm; 46 kPa – 4.25 mm; 44 kPa – 4.19 mm; 42 kPa – 4.12 mm; 40 kPa – 4,06 mm. The resulting model allows us to predict the nature of the interaction between the teat rubber and the teat at different values of the design parameters of the milking machine and the modes of the milking process.

Keywords: *milking machine, teat rubber, pressure on the nipple, critical pressure, deformation*

Введение. Эффективность работы доильного аппарата определяется в основном соответствием его конструктивно-режимных параметров морфологическим и функциональным свойствам вымени животных.

Непосредственный контакт с выменем животного осуществляет сосковая резина, установленная в гильзе доильного стакана. Сжатие сосковой резины с определенной частотой и длительностью тактов определяет величину импульса воздействия вакуума на сосок.

Другой важной характеристикой качества работы доильного аппарата является давление сосковой резины на сосок животного во время такта сжатия.

Исследования, выполненные рядом ученых, показали, что величина этого давления более 12 кПа ухудшает приток артериальной крови и приводит к гиперкератозу конца соска, при давлении менее 8 кПа происходит ухудшение стимуляции молокоотдачи, что приводит к снижению интенсивности молоковыведения [1 – 3]. Таким образом, принято считать, что оптимальный диапазон давления на конец соска – 8 – 12 кПа.

Однако теоретические исследования, выполненные отечественными и зарубежными учеными (Л.П. Карташовым, И.Н. Красновым, Э.А. Келписом, Э.А. Матисаном, Н.Н. Белянчиковым, И.В. Жиловым, Ю.С. Караваевым, А.С. Веприцким, Г. Майном, Д. Рейнеманом, М. Девисом), не дают однозначного решения проблемы определения и оценки процесса взаимодействия сосковой резины и соска при доении и даже противоречат друг другу [1 – 4].

Исследования, представленные в работе [5] позволяют формализовать величину воздействия сосковой резины на сосок в диапазоне изменений толщины чулка сосковой резины от нуля до критического значения. Однако определение максимального давления сосковой резины на сосок по формуле предложенной Келписом Э.А. и Матисаном Э.А. [4] значительно усложняет использование этого метода из-за необходимости определения безразмерного параметра критической нагрузки экспериментальным путем. Более предпочтительным и точным может быть способ, основанный на определении (измерении) давления на сосок конкретной сосковой резины с известными характеристиками и использовании этих данных для определения координат промежуточной точки графика зависимости давления на сосок от толщины стенок чулка.

Материалы и методы. В работе использованы положения, изложенные в статье «Теоретическое исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок во время такта сжатия» [5], классическая теория оболочек [6, 7], методы исследования функций [8], положения объединенной теории давления на сосок со стороны сосковой резины (американская модель) [3].

Результаты и их обсуждение. Согласно исследованиям Рейнемана, Майна, Вильямса, Дугласа, Побединского и других ученых величина сверхдавления на конец соска зависит от следующих факторов: толщины и жесткости сосковой резины, величины ее натяжения в доильном стакане, рабочего вакуума [1 – 3].

Результаты, полученные в этих исследованиях (рисунок 1), показывают, что сверхдавление (ОР-СД), оказываемое сосковой резиной на соски, изменяется следующим образом:

– увеличивается, прежде всего, с увеличением рабочего вакуума из-за большей разности давления, действующего поперек стенок сосковой резины;

– увеличивается, с увеличением натяжения при установке сосковой резины в доильном стакане;

– первоначально увеличивается, с увеличением глубины погружения соска в сосковую резину, но затем начинает уменьшаться почти до нуля, когда конец соска достигает основания цилиндрической части сосковой резины;

– вначале постепенно увеличивается, но затем начинает уменьшаться с: 1) увеличением толщины стенок сосковой резины, 2) увеличением жесткости резины, 3) увеличивающимся сопротивлением сжатию.

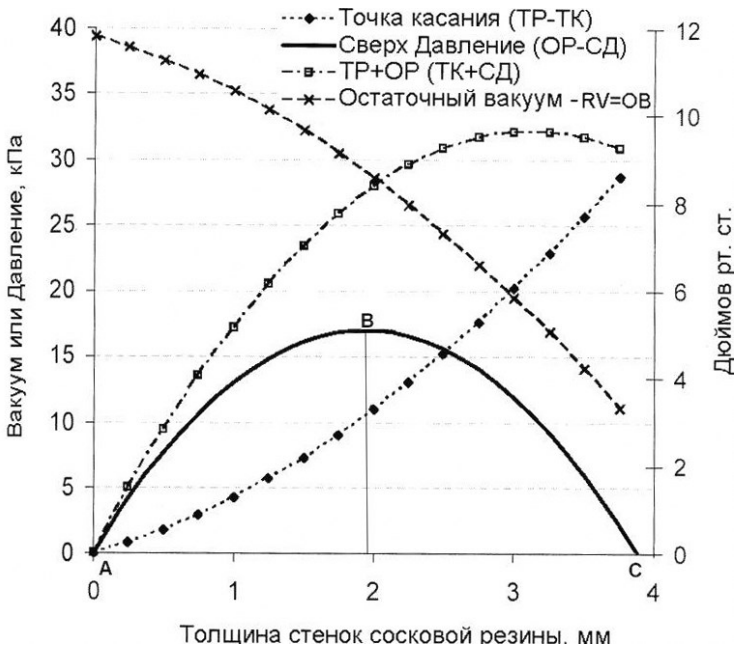


Рисунок 1 – Зависимости взаимодействия соска с 18 типами сосковых резин, выпускаемых фирмами Франции, Германии, Швеции и США

Анализ графика (рисунок 1), демонстрирующего изменение давления сосковой резины на сосок ($P_{сд}$), в зависимости от толщины стенок чулка сосковой резины (δ), показал, что эта зависимость может быть представлена уравнением второго порядка типа: $P_{сд}=a\delta^2 + в\delta + c$.

На графике можно выделить две характерные точки: «А» в которой $\delta = 0$ и $P_{сд}= 0$; «С» в которой $\delta = \delta_к$ и $P_{сд} = 0$ и некоторую промежуточную точку «В» с координатами $\delta = \delta_2$ и $P_{сд}=P_2$.

Если для уравнения второго порядка известны координаты 3-х различных точек его графика (x_1; y_1), (x_2; y_2), (x_3; y_3), то его коэффициенты могут быть найдены так [5]:

$$a = \frac{y_3 - \dfrac{x_3(y_2 - y_1) + x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1}}{x_3(x_3 - x_1 - x_2) + x_1 x_2}, -b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - a(x_1 + x_2), -c = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} + a x_1 x_2.$$

Для выделенных нами точек коэффициенты уравнения будут равны:

$$a = -\frac{P_2}{\delta_2(\delta_к - \delta_2)}; \quad b = P_2\left(\frac{1}{\delta_2} + \frac{1}{\delta_к - \delta_2}\right); \quad c = 0.$$

Уравнение примет вид:

$$P_{сд} = -\frac{\delta^2 P_2}{\delta_2(\delta_к - \delta_2)} + \delta P_2\left(\frac{1}{\delta_2} + \frac{1}{\delta_к - \delta_2}\right) \qquad (1)$$

Величина $\delta_к$ равна толщине стенки чулка сосковой резины, при которой критическое давление, соответствующее началу деформации чулка, равно перепаду давлений между межстенной и подсосковой камерами доильного стакана во время такта сжатия.

Критическое давление, при котором начинается деформация чулка сосковой резины, определяется из выражения [7]:

$$P_к = \frac{E\delta^3}{4(1-\mu^2)R^3}$$

где $P_к$ – критическое давление; E - модуль упругости материала; M – коэффициент Пуассона; δ – толщина стенки чулка сосковой резины; R – радиус чулка сосковой резины.

С учетом того, что для резины μ = 0,5 выражение примет вид:

$$P_к = \frac{E\delta^3}{3R^3} \qquad (2)$$

В точке «С» критическое давление равно вакууму в подсосковой камере во время такта сжатия, которое можно принять равным рабочему вакууму ($P_р$).

Тогда толщина стенки чулка сосковой резины, соответствующая этому условию, будет равна:

$$\delta_к = 1{,}44R\sqrt[3]{\frac{P_р}{E}} \ . \qquad (3)$$

Величину давления сосковой резины на сосок (P_2) в точке «В» можно определить экспериментально для конкретной модели сосковой резины используя измерительное устройство [9].

Так для сосковой резины модели ДД 00.041А указанное давление при различных значениях рабочего вакуума равно: 48 кПа – 9,6 кПа; 46 кПа – 9,5 кПа; 44 кПа – 9,4 кПа; 42 кПа – 9,3 кПа; 40 кПа – 9,2 кПа. Параметры сосковой резины следующие: длина чулка (l) – 125 мм; радиус чулка (R) – 13 мм; толщина стенки (*δ)* – 2 мм; площадь сечения чулка (S) – 163 мм^2; модуль упругости материала (E) – 3,92 МПа.

Толщина стенки, при которой давление на сосок в соответствии с зависимостью 3 равно нулю при различных значениях рабочего вакуума составляет: 48 кПа – 4,30 мм; 46 кПа – 4,25 мм; 44 кПа – 4,19 мм; 42 кПа – 4,12 мм; 40 кПа – 4,06 мм. Полученный результат примерно соответствует данным, полученным американскими учеными (рисунок 1).

На рисунке 2 представлены графики изменения давления сосковой резины на сосок при ее смыкании в зависимости от толщины стенки чулка для различных значений рабочего вакуума.

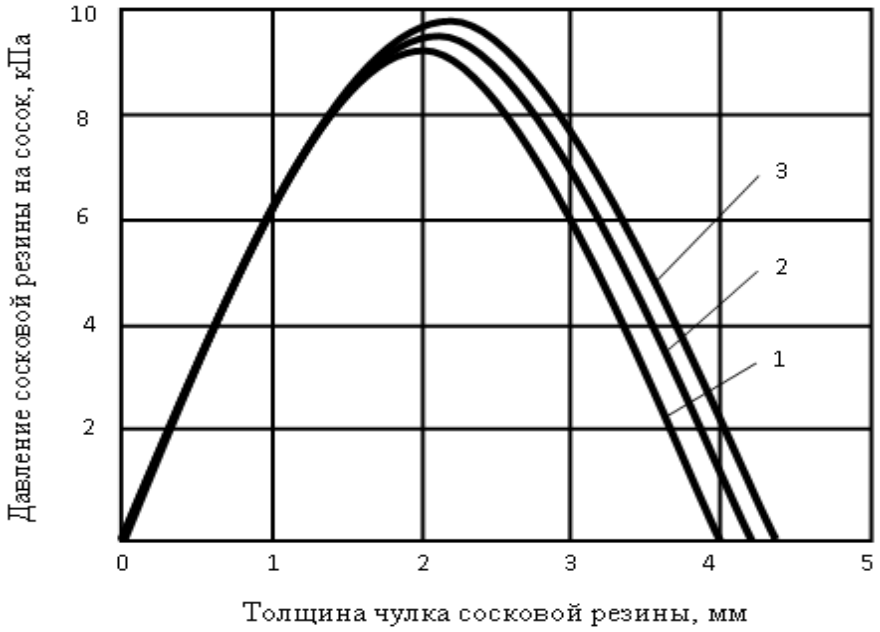


Рисунок 2 - Графики изменения давления сосковой резины на сосок при рабочем вакууме: 1 – 40 кПа; 2 – 44 кПа; 3 – 48 кПа

Из графика видно, что максимум функции возрастает от 9,2 кПа до 9,6 кПа, при увеличении рабочего вакуума максимум функции и его ордината возрастают. Толщина стенки чулка сосковой резины, при которой давление на сосок становится равной нулю, с изменением рабочего вакуума возрастает от 4.06 мм до 4,30 мм.

Полученная математическая модель может использоваться для оптимизации конструктивных параметров сосковых резин при их проектировании, а также при разработке средств приборного контроля состояния сосковой резины в процессе ее эксплуатации [10].

Заключение. На основе положений объединенной теории давления сосковой резины на сосок (американская модель), классической теории оболочек и параметров конкретных моделей сосковых резин получена зависимость давления сосковой резины на сосок при смыкании от толщины ее стенок и рабочего вакуума.

Характер зависимости представляет собой уравнение второго порядка, при этом давление сосковой резины на сосок с увеличением толщины стенок вначале увеличивается от нуля до максимума, а затем снижается и достигает нулевого значения в точке, где критическое давление равно рабочему вакууму.

Полученная модель позволяет прогнозировать характер взаимодействия сосковой резины и соска при различных значениях конструктивных параметров доильного аппарата и режимов процесса доения.

Список литературы

1. Mein G.A., Williams D.M.D., Reinemann D.J. NMC. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1.Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat // 42nd Annual Meeting of the National Mastitis Council. – Fort Worth Texas. – USA. – January 26-29. – 2003.

2. Побединский В., Гончар А., Иойшер А. Методы и приборы для оценки работоспособности доильных аппаратов // Stiinta agricola. – 2008. – № 2. – С. 55 – 60.

3. Davis M.A., Reinemann D.J., Mein G.A. Relationships between physical characteristics and milking characteristics of the aging milking liner. Written for presentation at the 2000 ASAE annual international meeting, Milwaukee. – Wisconsin. – July 10 – 13.

4. Карташов Л.П. Машинное доение коров. – М.: Колос. – 1982. – 104 с.

5. Доровских В.И., Жариков В.С. Теоретическое исследование процесса воздействия сосковой резины на сосок во время такта сжатия //Наука в центральной России. – 2019. – №2. – С. 103 – 107.

6. Михайловский Е. И. Математические модели механики упругих тел: учеб. пособие для мат. направления и специальностей. – Сыктывкар. – 2004. – 322 с.

7. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек – М: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». – 1978. – 360 с.

8. Элементарные функции и их графики. URL: http://www. econom.misis.ru›S/Hel/Matem/Para 3t.htm/ (дата обращения 12.01.2021).

9. 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. – С. 28 – 35

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

References

1. Mein G.A., Williams D.M.D., Reinemann D.J. NMC. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1.Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat // 42nd Annual Meeting of the National Mastitis Council. – Fort Worth Texas. – USA. – January 26-29. – 2003.

2. Pobedinskij V., Gonchar A., Iojsher A. Metody i pribory dlja ocenki rabotosposobnosti doil'nyh apparatov // Stiinta agricola. – 2008. – № 2. – S. 55 – 60.

3. Davis M.A., Reinemann D.J., Mein G.A. Relationships between physical characteristics and milking characteristics of the aging milking liner. Written for presentation at the 2000 ASAE annual international meeting, Milwaukee. – Wisconsin. – July 10 – 13.

4. Kartashov L.P. Mashinnoe doenie korov. – M.: Kolos. – 1982. – 104 s.

5. Dorovskih V.I., Zharikov V.S. Teoreticheskoe issledovanie processa vozdejstvija soskovoj reziny na sosok vo vremja takta szhatija //Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – №2. – S. 103 – 107.

6. Mihajlovskij E. I. Matematicheskie modeli mehaniki uprugih tel: ucheb. posobie dlja mat. napravlenija i special'nostej. – Syktyvkar. – 2004. – 322 s.

7. Grigoljuk Je.I., Kabanov V.V. Ustojchivost' obolochek – M: Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoj literatury izdatel'stva «Nauka». – 1978. – 360 s.

8. Jelementarnye funkcii i ih grafiki. URL: http://www. econom.misis.ru›S/Hel/Matem/Para_3t.htm/ (data obrashhenija 12.01.2021).

9. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Atkeshov O.A. Issledovanie rezhimov nastrojki doil'nyh apparatov s pomoshh'ju universal'nogo pribora dlja kontrolja periodov pul'sacij i izmerenija davlenija soskovoj reziny na konec soska // Nauka v central'noj Rossii. –2017. –№ 1. – S. 28 – 35

10. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Hohlov I.N. Povyshenie kachestva doenija regulirovaniem davlenija soskovoj reziny na sosok // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2012. – № 6. – S. 12 – 13.

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): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 67.05: 66-933.4
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-59-69

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ НОЖ РЫЧАЖНОГО ТИПА ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ

[1]Петрашев Александр Иванович
[2]Таха Фирас

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]Технический университет Аль-Фурат Аль-Авсат – Технический колледж Аль-Муссаиб

Реферат. *Задачу по обеспечению машинно-тракторного парка недорогими консервационными составами следует решать путем организации в аграрных предприятиях участков по их малотоннажному производству. Предложено оснащать такие участки гидравлическим ножом рычажного типа для резки твердо-пластичных компонентов консервационных составов. Определены коэффициенты сцепления твердо-пластичных компонентов со сталью, влияющие на кинематические параметры рычажного ножа: битум по сухой стали 2,42 – 4,22; битум по стали с отработанным маслом 0,51 – 0,6; присадка Эмульгин по сухой стали 1,1 – 0,49. Изготовлен компактный гидравлический нож, содержащий стол для размещения компонентов, основание со стойками, шарнирно закрепленные на стойках рычаги с лезвием и гидроцилиндры для подъема рычагов. Показано, что для привода ножа подходит гидравлический стенд с давлением насоса до 10 МПа. Проведены производственно-технологические исследования гидравлического ножа рычажного типа при резке бухт с битумом и картонных барабанов с присадкой Эмульгин. В процессе исследований определены: высота подъема лезвия 380 мм при ходе штока гидроцилиндра 200 мм; длина лезвия рабочая 520 мм; сила резки 37 кН; производительность 100 кг/ч, габаритные размеры 1170 х 820 х 1030 мм. Установленные технические показатели рычажного ножа позволяют считать его конструкцию соответствующей технологии малотоннажного производства консервационных составов.*

Ключевые слова: *твердо-пластичный компонент, коэффициент сцепления, рычажный нож, сила резки.*

LEVER TYPE HYDRAULIC KNIFE FOR LOW-TONNAGE PRODUCTION OF THE CONSERVATION COMPOSITION

[1]Petrashev Alexandr
[2]Taha Firas
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]Al-Furat Al-Awsat Technical University – Technical Collage of Al-Mussaib

Abstract. *The task of providing the machine and tractor fleet with inexpensive conservation compositions should solved by organizing sites for their low-tonnage production in agricultural enterprises. It proposed to equip such sections with a lever-type hydraulic knife for cutting hard-plastic components of conservation compositions. Coefficients of adhesion of hard-plastic components to steel, affecting the kinematic parameters of the lever knife: bitumen for dry steel 2.42-4.22; bitumen for steel with waste oil 0.51-0.6; Additive Emulgin for dry steel 1.1-0.49 were determined. A compact hydraulic knife containing a table for placing components, a base with legs, articulated arms with a blade and hydraulic cylinders for lifting the arms manufactured. It shown that a hydraulic stand with a pump pressure of up to 10 MPa is suitable for driving a knife. Production and technological studies of a lever-type hydraulic knife when cutting coils with bitumen and cardboard drums with an Emulgin additive carried out. Lifting height of the blade 380 mm with the stroke of the hydraulic cylinder 200 mm; working blade length 520 mm; cutting force 37 kN; productivity 100 kg / h, overall dimensions 1170 x 820 x 1030 mm were determined during the research. The established technical indicators of the lever knife make it possible to consider its design as the appropriate technology for low-tonnage production of conservation compositions.*

Keywords: *hard-plastic component, adhesion coefficient, lever knife, cutting force.*

Введение. Рабочие органы отечественной и импортной сельскохозяйственной техники в процессе эксплуатации подвергаются активному изнашиванию за счет истирания растительной массой и почвой. При этом их поверхности лишаются защитных покрытий, нанесенных в заводских условиях. Так как рабочие органы изготовлены из углеродистых сталей (легированных, упрочненных, но не коррозионностойких), то по завершении полевых работ необходимо обеспечить их защиту от атмосферной коррозии на период осенне-зимне-весеннего хранения под открытым небом [1]. Противокоррозионные мероприятия по нанесению консервационных составов позволяют сохранять показатели работоспособности машин и орудий на том же уровне, который они имели в момент окончания полевых работ [2] . В противном случае, из-за пассивного изнашивания, вызванного атмосферной коррозией, снижается усталостная прочность деталей рабочих органов, их безотказность, ремонтопригодность и долговечность [3, 4].

Для проведения противокоррозионных мероприятий на всем парке техники, каждому сельхозпредприятию ежегодно требуются консервационные составы в объеме от нескольких сотен литров до кубометров. Так как затраты на приобретение консервационных составов являются регулярными, то руководство сельхозпредприятия, особенно крупного, ищет способы их снижения. Этого возможно добиться за счет децентрализованного производства консервационных составов с привлечением собственных ресурсов сельхозпредприятия, вторичного сырья и нефтеотходов [5, 6].

Участки по малотоннажному производству консервационных составов целесообразно оснащать гидравлическими ножами для резки (измельчения) твердо-пластичных компонентов, а также смесителями для нагрева и смешивания жидких и измельченных компонентов в рекомендуемых пропорциях [7, 8]. Предприятиям технического сервиса или сельхозпредприятиям, заинтересованным в организации подобных участков с минимальными затратами средств, более приемлемы такие конструкции гидравлических ножей, которые могут изготовлены собственными силами в ремонтных мастерских. При этом основные комплектующие изделия для гидравлических ножей должны быть унифицированы с гидравлическими системами сельхозмашин и доступны для применения.

В работах [9, 10] рассмотрена кинематическая схема и обоснованы параметры работоспособного состояния компактного гидравлического ножа рычажного типа,

предназначенного для резки твердо-пластичных компонентов консервационных составов: битума, ингибирующих присадок Эмульгин и КО-СЖК, относящихся к побочным продуктам нефтепереработки. Авторами предлагается определять рациональные параметры рычажного ножа с учетом коэффициентов сцепления твердо-пластичных компонентов со стальной поверхностью.

Методика и результаты исследования коэффициентов сцепления. Для определения коэффициентов сцепления битума, присадок Эмульгин и КО-СЖК со стальной поверхностью разработан измерительный стенд (рисунок 1), включающий корпус 1, линейку 2, натяжное устройство 3, платформу 4, каретку 5, нагрузку 6, стальную пластину 7 и противовес 8.

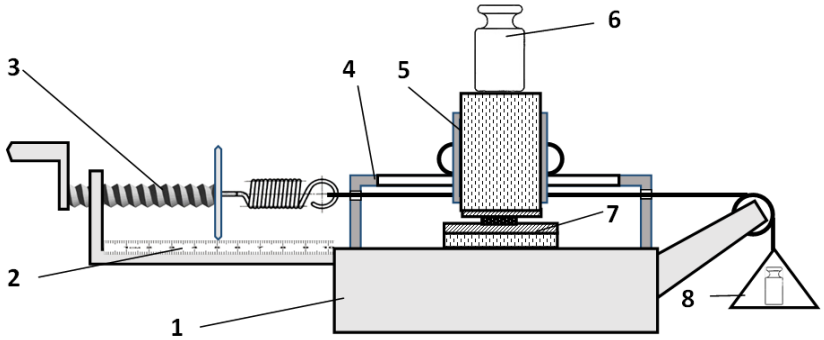


Рисунок 1 – Схема стенда для измерения коэффициента сцепления

Натяжное устройство 3 содержит винт, указатель, пружину, которая посредством гибкой тяги соединена с кареткой 5. Каретка 5 размещена на роликах для свободного движения по платформе 4. Противовес 8 посредством гибкой тяги также соединен с кареткой. Он служит для устранения зазоров в натяжном устройстве 3. Нагрузка 6 через толкатель воздействует на компонент, помещенный между стальными пластинами 7. Во время опытов изменяли нагрузку 6, посредством натяжного устройства 3 растягивали пружину до момента начала движения каретки 5.

Исследования коэффициентов сцепления компонентов проводили на поверхности сухой стали и на поверхности стали, смазанной отработанным моторным маслом.

Коэффициент $f_{сц}$ сцепления компонентов с поверхностью рассчитывали по формуле:

$$f_{сц} = \frac{L \cdot k}{m_н g},$$

где L – растяжение пружины на момент начала движения каретки, мм; k – жесткость пружины, k = 0,25 Н/мм; $m_н$ – масса нагрузки, кг; g – ускорение свободного падения, м^2/с.

Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 1.

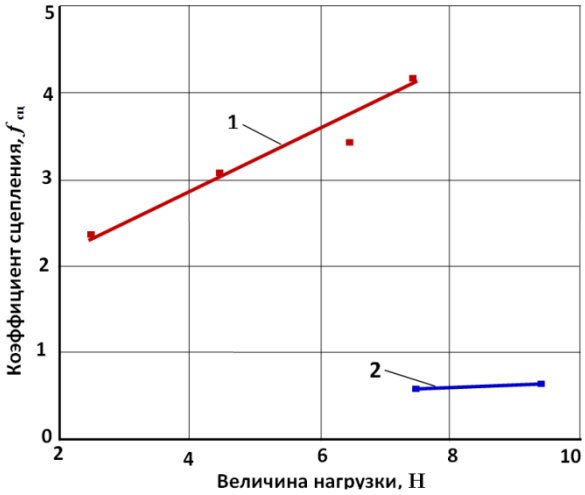
Таблица 1 – Коэффициенты сцепления компонентов со сталью

Исследуемый компонент	Нагрузка, Н	Площадь контакта, см^2	Коэффициент сцепления
Присадка КО-СЖК (на сухой стали)	6,5	5,0	0,37
	20,0	5,0	0,33
Присадка Эмульгин (на сухой стали)	6,5	5,0	1,10
	13,5		0,49
Битум (на сухой стали)	2,5	5,0	2,42
	4,5		3,12
	6,5		3,43
	7,5		4,22
Битум (на стали, смазанной маслом)	7,5	5,0	0,51
	9,5		0,60

Исследование показало, что на сухой поверхности коэффициенты сцепления присадок КО-СЖК и Эмульгин снижались при увеличении нагрузки. При этом интенсивность снижения коэффициента сцепления зависела от природы присадки. Например, увеличение нагрузки на

присадку КО-СЖК с 6,5 до 20,0 Н (в 3 раза) способствовало уменьшению коэффициента сцепления с 0,37 до 0,33 (снизило на 10 %). Увеличение нагрузки на присадку Эмульгин 6,5 до 13,5 Н (в 2 раза) привело к уменьшению коэффициента сцепления с 1,10 до 0,49 (снизило на 55 %).

Битум, в отличие от присадок, с увеличением нагрузки лучше сцеплялся с сухой стальной поверхностью. Так, увеличение нагрузки на битум с 2,5 до 7,5 Н (в 3 раза) привело к росту его коэффициента сцепления с 2,42 до 4,22 (повысило на 74 %). Чем больше была нагрузка, тем сильнее битум сцеплялся с сухой стальной поверхностью (рисунок 2, график 1). Такое свойство битума способно существенно затруднить его перемещение по столу гидравлического ножа в процессе резки на пласты и куски.



1 – битум на сухой стали; 2 – битум на стали, смазанной отработанным маслом

Рисунок 2 – Коэффициент сцепления битума с поверхностью стали

После того, как поверхность стали сначала смазали отработанным моторным маслом, а затем протерли сухой ветошью, коэффициент сцепления битума с ней уменьшился до $f_{сц}$ = 0,51-0,60 (снизился в 7 раз), и его величина стала примерно такой же, как у присадки Эмульгин (0,5-0,6). Тем самым, за счет смазывания стали перед резкой битума, удалось обеспечить одинаковость технологических режимов резки и присадок, и битума.

Разработка рычажного ножа и его технологические исследования. В работах [9, 10] обоснована кинематическая схема рычажного ножа для резки твердо-пластичных компонентов консервационных составов. Для привода ножа предлагается использовать отдельный гидравлический стенд. Схематически устройство рычажного ножа (вид сбоку) показано на рисунке 3.

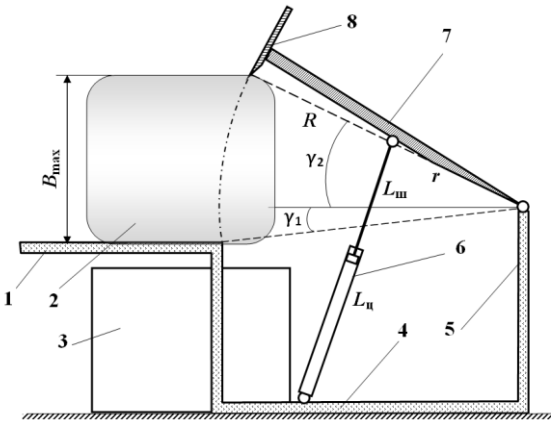


Рисунок 3 – Схема рычажного ножа для резки твердо-пластичных компонентов

Он содержит стол 1 для размещения упаковки 2 с твердо-пластичным компонентом, основание 4, стойку 5, лезвие 8 на рычаге 7, шарнирно установленном на стойке 5, и гидроцилиндр 6, соединенный с основанием 4 и рычагом 7. При подаче масла от гидравлического стенда в поршневую полость гидроцилиндра 6 происходит выдвижение штока, рычаг 7 поворачивается вправо, а лезвие 8 поднимается вверх. Под лезвие 8 помещают упаковку 2 с твердо-пластичным компонентом, и подают масло в штоковую полость гидроцилиндра 6 – происходит втягивание штока в гидроцилиндр. Рычаг 7 поворачивается влево, лезвие 8, опускаясь вниз, отрезает от упаковки 2 пласт твердо-пластичного компонента, который падает со стола 1 в контейнер 3.

В работе [10] обоснована формула для определения максимальной высоты подъема лезвия (по вертикали) рычажного ножа:

$$B_{\max} = 0{,}017R \cdot \left(\gamma_1 + \gamma_2\right). \quad (1)$$

где $B_{\max}$ – максимальная высота подъема лезвия, мм; 0,017 – коэффициент пропорциональности, град$^{-1}$; R – длина рычага, мм; γ_1 – нижний угол наклона рычага к плоскости стола, град; γ_2 – верхний угол наклона рычага к плоскости стола, град.

Нижний угол наклона γ_1 зависит от положения шарнира рычага на стойке относительно плоскости стола. Его величина закладывается на стадии проектирования и в процессе работы гидравлического ножа не корректируется. Максимальное значение верхнего угла наклона γ_2 рычага, определяемое из условия устойчивости технологического процесса резки [10], зависит от коэффициента сцепления твердо-пластичного компонента с поверхностью стола:

$$\gamma_2 = \mathrm{arctg}\left(f_{сц}\right). \quad (2)$$

По данным таблицы 1 коэффициенты сцепления присадки Эмульгин и битума (на смазанной поверхности) составляют 0,5-0,6. При этом значения угла γ_2, рассчитанные по формуле (2), находятся в интервале: $30^o \geq \gamma_2 \geq 26^o$. Для разрабатываемой конструкции рычажного ножа возьмем серединное значение интервала, при котором верхний угол наклона рычага – $\gamma_2 = 28^o$. Нижний угол наклона рычага конструктивно ограничим величиной – $\gamma_1 = 10^o$.

Максимальная высота подъема лезвия зависит от высоты упаковки с твердо-пластичным компонентом. Например, присадка Эмульгин фасуется в картонные барабаны объемом 50 л, их диаметр равен 320 мм. Параметры разрабатываемого рычажного ножа должны обеспечить стабильность процесса резки барабана указанного диаметра.

Из выражения (1) определим длину рычага:

$$R = \frac{B_{\max}}{0{,}017\left(\gamma_1 + \gamma_2\right)}, \quad (3)$$

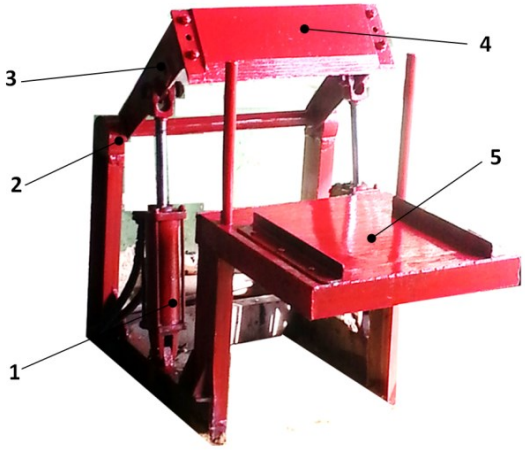
где $B_{\max}$ – диаметр картонного барабана, $B_{\max}$ = 320 мм; углы: $\gamma_1 = 10^o$, $\gamma_2 = 28^o$.

Расчет по формуле (3) дает длину рычага R = 495 мм; округляем длину до R = 500 мм.

Для привода рычажного ножа выбран гидроцилиндр ЦС-75: диаметр поршня – 75 мм, диаметр штока – 30 мм, ход штока – 200 мм. На рычаге выполнено отверстие на расстоянии 250 мм от оси шарнира для крепления вилки штока. Режущая часть лезвия изготовлена в виде клина с углом 18°. Кромка лезвия закруглена по радиусу 0,8 мм. Параметры лезвия определены по рекомендациям, изложенным в источнике [11, с. 49 – 50].

Обоснованные параметры рычажного ножа использованы при проектировании и изготовлении экспериментального образца (рисунок 4).

В составе экспериментального образца рычажного ножа имеется общая рама со столом 5 и стойками, на которых размещены шарниры 2 в качестве опоры для оси с рычагами 3. Концы рычагов 3 соединены с лезвием 4, по центру каждого рычага 3 посредством вилки и пальца шарнирно прикреплены штоки гидроцилиндров. В месте соприкосновения кромки лезвия с поверхность стола изготовлен паз, в который запрессована полоска технической резины. Благодаря этому обеспечивается полнота резки компонентов и упаковки.



1 – гидроцилиндр; 2 – шарнир; 3 – рычаг; 4 – лезвие; 5 – стол
Рисунок 4 – Рычажный нож для резки твердо-пластичных компонентов

Для управления работой гидроцилиндров задействован гидравлический стенд, изготовленный из элементов от гидравлических систем сельскохозяйственных машин (рисунок 5).

Рисунок 5 – Гидравлический стенд для привода рычажного ножа

Стенд состоит из тележки, насоса НШ-32, электродвигателя (7,5 кВт, 960 об/мин), масляного бака, золотникового распределителя. Гидроцилиндры ножа с помощью шлангов подключены к распределителю стенда. Из золотника распределителя удалены фиксирующие шарики для того, чтобы обеспечить быстрый возврат золотника в нейтральное положение и мгновенную остановку лезвия ножа при снятии нагрузки с управляющего рычага распределителя. Благодаря этому были исключены возможные причины травмирования оператора и повышена безопасность процесса резки твердо-пластичных компонентов вручную.

Испытания рычажного ножа подтвердили его работоспособность. Установлено, что при полном выходе штока из гидроцилиндра высота подъема режущей кромки лезвия над поверхностью стола составила $B_к$ = 380 мм. В работе [10] методом математического моделирования получена формула для определения высоты подъема лезвия рычажного ножа:

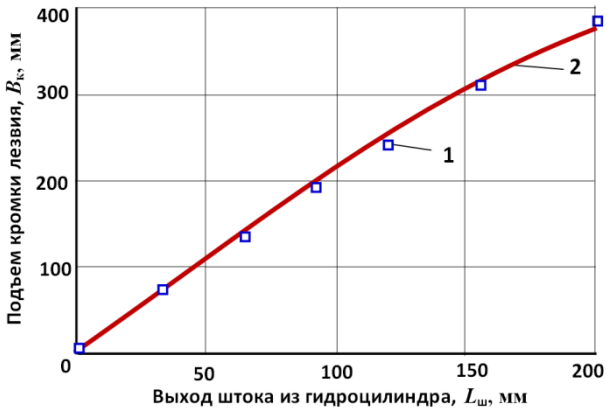
$$B_к = k_л R \operatorname{arctg}\left(\frac{L_ш}{r}\right), \quad (4)$$

где $B_к$ – высота подъема лезвия над плоскостью стола, мм; $k_л$ – коэффициент подъема лезвия, град$^{-1}$; R – длина рычага от оси шарнира до кромки лезвия, мм; $L_ш$ – выход штока из гидроцилиндра, мм; r – расстояние от оси шарнира до оси пальца в вилке штока, мм.

Для определения численного значения коэффициента $k_л$ подъема лезвия ножа проведены измерения величины $L_ш$ выхода штока из гидроцилиндра и соответствующей высоты подъема лезвия режущей пластины над плоскостью стола. После обработки результатов измерений определен коэффициент подъема лезвия – $k_л$= 0,0195 град $^{-1}$, который введен в формулу (4):

$$B_к = 0{,}0195R \operatorname{arctg}\left(\frac{L_ш}{r}\right). \quad (5)$$

Для сопоставления высоты подъема лезвия, исчисленной по формуле (5), с результатами выполненных измерений, построен график на рисунке 6. На графике, в виде точек нанесены данные измерений высоты подъема лезвия в зависимости от выхода штока из гидроцилиндра, а линией изображена зависимость, рассчитанная по формуле (5).



1 – результатам измерений высоты подъема лезвия; 2 – зависимость, рассчитанная по формуле (5)
Рисунок 6 – Подъем кромки лезвия $B_к$ над плоскостью стола в зависимости от выхода штока $L_ш$

Практическая совместимость результатов измерений и расчетов, представленных на рисунке 6, указывает на соответствие скорректированной зависимости (5), полученной путем математического моделирования, реальной кинематике перемещения лезвия рычажного ножа. При этом различия в измерениях и расчетах не превышают 1,5 %.

В ходе проведенных исследований оценивали силу резки на кромке лезвия при изменении давления насоса в гидравлическом стенде. При этом давление насоса корректировали регулировкой предохранительного клапана в распределителе стенда, а силу на кромке лезвия измеряли динамометром ДОСМ 3-5. Результаты выполненных опытов представлены на рисунке 7.

Опыты показали, что при давлении насоса 6,0 МПа сила резки составила 20 кН, при давлении 10 МПа сила резки – 37 кН. Мощность, потребляемая электродвигателем гидравлического стенда, составила 6,5 кВт при давлении насоса 10 МПа.

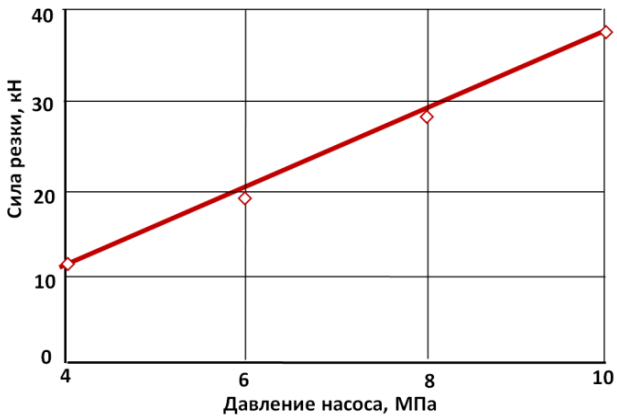


Рисунок 7 – Влияние давления насоса на силу резки рычажным ножом

Процесс резки присадки Эмульгин, упакованной в картонный барабан диаметром 32 см, посредством рычажного ножа показан на рисунке 8.

Рисунок 8 – Резка барабана с Эмульгином рычажным ножом

Присадку не нужно было освобождать от упаковки. Рычажный нож надежно резал картонный барабан вместе с присадкой на крупные куски. При этом в процессе разрезания барабан с присадкой оставался неподвижным на поверхности стола. Отрезанные куски диаметром 32 см и толщиной 10 – 12 см сбрасывались в контейнер, находящийся под столом. По окончании разрезания барабана, контейнер с крупными кусками присадки извлекли из-под стола, а под стол помещали второй контейнер для мелких кусков. Крупные куски присадки легко освобождались от остатков упаковки, укладывались на стол под лезвие ножа и резались на мелкие куски (8х8х10 – 12 см) при подъеме лезвия на 15 см. Мелкие куски накапливались во втором контейнере.

По результатам исследования определена удельная сила резания рычажного ножа, отнесенная к диаметру барабана (32 см) с Эмульгином. Ее величина составила 1,16 кН/см. Так как удельная силы резания натуральных каучуков составляет порядка 1,0 – 3,0 кН/см [8], то допустимо считать, что рычажный нож способен эффективно резать брикеты с такими компонентами, как битумно-каучуковая смесь или аэродромная мастика.

Процесс резания рычажным ножом брикета с битумом, размером 20 х 25 х 50 см, показан на рисунке 9. Длительность рабочего хода ножа составила 4 с, холостого хода – 6 с. Затраты времени на полный рабочий цикл резки (подъем и опускание лезвия) зависели от высоты разрезаемого куска компонента, и составляли, в среднем, 10 с. На технологичность процесса резки битума влияла его температура. При 8 – 15 ^{o}С битум был хрупким, от брикета откалывались крупные куски, а битум не прилипал к столу и лезвию ножа. При 20 – 25 ^{o}С размягченный битум прилипал к поверхности стола и лезвия, что ухудшало технологичность резки. Для того чтобы сделать процесс резки размягченного битума технологичным, поверхность стола и лезвия смазывали отработанным маслом. Благодаря смазыванию было исключено налипание битума на элементы рычажного ножа и облегчено его перемещение по столу.

Рисунок 9 – Работа гидравлического ножа при резке бухты битума

Проведенный хронометраж работы рычажного ножа показал, что на одну упаковку битума массой 25 кг потребовалось 15 мин времени для резки ее на куски массой 60-100 г. Таким образом, производительность рычажного ножа при резке битума составила 100 кг/ч, энергоемкость процесса резки: 0,02-0,03 кВт·ч/кг.

Установленные в ходе исследований технические показатели разработанного гидравлического ножа рычажного типа сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика гидравлического ножа рычажного типа.

№	Наименование показателя	Значение показателя
1	Длина рычага	500 мм
2	Длина лезвия (полная/рабочая)	820/520 мм
3	Тип гидроцилиндра	ЦС-75
4	Ход штока гидроцилиндра	200 мм
5	Высота подъема лезвия	380 мм
6	Привод ножа	от гидростенда (7,5 кВт; 12 МПа)
7	Усилие резки	37 кН (при 10 МПа)
8	Длительность 1 цикла резки	до 10 с
9	Производительность резки	100 кг/ч
10	Энергоемкость процесса резки	0,02-0,03 кВт·ч/кг
11	Габаритные размеры	1170 х 820 х 1030 мм
12	Масса	107 кг

Выводы.

1. Исследовано влияние нагрузки на коэффициенты сцепления со сталью твердо-пластичных компонентов консервационных составов: битума, присадок Эмульгин и КО-СЖК. При увеличении нагрузки сцепление битума со сталью усиливается, а присадок – ослабляется. При смазывании стали отработанным маслом коэффициент сцепления битума снизился в 7 раз, и его величина стала сопоставимой с коэффициентом сцепления (0,5 – 0,6).

2. Для оснащения участков по децентрализованному производству консервационных составов разработан гидравлический нож рычажного типа. Рычажный нож предназначен для резки твердо-пластичных компонентов на куски, технология его изготовления соответствует технологическим возможностям ремонтных мастерских сельхозпредприятий.

3. Проведенные производственно-технологические исследования гидравлического ножа рычажного типа подтвердили его техническую и технологическую надежность, безопасность работы при резке твердо-пластичных компонентов. Установленные технические показатели рычажного ножа позволяют считать его конструкцию соответствующей технологии децентрализованного производства консервационных составов.

Список литературы

1. ГОСТ 7751–2009. Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения. – М.: Изд-во стандартов. – 2011. – 19 с.

2. Справочник фермера / Кузьмин В.Н., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П. и др. – М.: Изд-во «Росинформагротех». – 2017. – 708 с.

3. Properties of petroleum and synthetic oils as bases for anticorrosion materials / Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E. at al. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Vol. 55. – № 4. – Pp. 412-423.

4. Петрашев А.И., Губашева А.М., Жазыкбаева Г.М. Исследование ингибированных мазутных составов на атмосферостойкость // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2019. – № 2. – С. 163 – 171.

5. Петрашев А.И., Зазуля А.Н., Клепиков В.В. Доступный консервант для почвообрабатывающей техники // Сельский механизатор. – 2019. – № 2. – С. 36 – 37.

6. Князева Л.Г., Шель Н.В., Прохоренков В.Д., Остриков В.В. Утилизация отработанных масел путем получения из них высокоэффективных консервационных материалов // Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 5. – С. 2303 – 2306.

7. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. Анализ технологического процесса малотоннажного производства консервационных материалов / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. XVIII

Международная научно-практическая конференция. – Тамбов: Издательство Першина Р.В. – 2015. – С. 179 – 181.

8. Устройство для приготовления защитных составов при консервации сельскохозяйственной техники / Е.Б. Миронов, Е.А. Лисунов, А.Е. Крупин, Е.М. Тарукин // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 26. – № 4. – С. 490 – 496.

9. Таха Ф.Д., Петрашев А.И. Обоснование конструкции гидравлического ножа для резки твердо-пластичных компонентов / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. XVIII Международная научно-практическая конференция. – Тамбов: Издательство Першина Р.В. – 2015. – С. 175 – 179.

10. Таха Ф.Ж.Т. Совершенствование оборудования и технологии консервации сельскохозяйственной техники ингибированными битумными составами: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Тамбов. – 2017. – 183 с.

11. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности: Учеб. пособие для вузов / Бекин Н.Г., Захаров Н.Д., Пеунков Г.К. и др. – Л.: Химия. – 1985. – 504 с.

References

1. ГОСТ 7751–2009. Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения. – М.: Изд-во стандартов. – 2011. – 19 с.

2. Справочник фермера / Кузьмин В.Н., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П. и др. – М.: Изд-во «Росинформагротех». – 2017. – 708 с.

3. Properties of petroleum and synthetic oils as bases for anticorrosion materials / Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E. at al. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Vol. 55. – № 4. – Pp. 412-423.

4. Петрашев А.И., Губашева А.М., Жазыкбаева Г.М. Исследование ингибированных мазутных составов на атмосферостойкость // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2019. – № 2. – С. 163 – 171.

5. Петрашев А.И., Зазуля А.Н., Клепиков В.В. Доступный консервант для почвообрабатывающей техники // Сельский механизатор. – 2019. – № 2. – С. 36 – 37.

6. Князева Л.Г., Шель Н.В., Прохоренков В.Д., Остриков В.В. Утилизация отработанных масел путем получения из них высокоэффективных консервационных материалов // Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 5. – С. 2303 – 2306.

7. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. Анализ технологического процесса малотоннажного производства консервационных материалов / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. XVIII Международная научно-практическая конференция. – Тамбов: Издательство Першина Р.В. – 2015. – С. 179 – 181.

8. Устройство для приготовления защитных составов при консервации сельскохозяйственной техники / Е.Б. Миронов, Е.А. Лисунов, А.Е. Крупин, Е.М. Тарукин // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 26. – № 4. – С. 490 – 496.

9. Таха Ф.Д., Петрашев А.И. Обоснование конструкции гидравлического ножа для резки твердо-пластичных компонентов / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. XVIII Международная научно-практическая конференция. – Тамбов: Издательство Першина Р.В. – 2015. – С. 175 – 179.

10. Таха Ф.Ж.Т. Совершенствование оборудования и технологии консервации сельскохозяйственной техники ингибированными битумными составами: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Тамбов. – 2017. – 183 с.

11. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности: Учеб. пособие для вузов / Бекин Н.Г., Захаров Н.Д., Пеунков Г.К. и др. – Л.: Химия. – 1985. – 504 с.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

Таха Фирас – доктор сельскохозяйственных машин и оборудования в Техническом колледже Аль-Муссаиба Технического университеа «Аль-Фурат Аль-Авсат», Ирак, г. Вавилон, e-mail: engineer.firas@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Petrashev Alexandr – 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: vitin-10.pet@mail.ru.

Firas Taha – Doctor of Agricultural Machinery and equipment at the Technical Collage of Al-Mussaib, "Al-Furat Al-Awsat" Technical University, Iraq, Babylon, e-mail: engineer.firas@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-69-79

ЭЛАСТОМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Ли Роман Иннакентьевич
[2]Псарев Дмитрий Николаевич
[3]Киба Мария Романовна

[1]ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Реферат. *Восстановление изношенных корпусных деталей обеспечивает существенное снижение расхода денежных средств на ремонт автотракторной техники, уменьшение экологической нагрузки благодаря сокращению потребности в электрической энергии, металлах, меньшему загрязнению окружающей среды. В работе проанализированы недостатки большинства распространенных способов восстановления корпусных деталей. Предложено для этих целей использовать полимерные нанокомпозиты, не требующие сложного технологического оборудования, больших затрат ремонтных материалов и электроэнергии, обеспечивающие повышение эффективности технологии восстановления и послеремонтного ресурса корпусных деталей и подшипниковых узлов, снижающие стоимость материала. Изучали влияние металлических наночастиц на теплофизические и механические свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40, наполненного наночастицами меди и алюминия. Установлено, что наночастицы меди, благодаря высокой энергии ионизации, образуют прочные хемосорбционные связи с макромолекулами каучука СКН-40, которые обеспечивают стабилизирующий эффект при термической деструкции и повышают термостойкость эластомера. Наполнение эластомера Ф-40 наночастицами меди и алюминия повышает модуль упругости, прочность и долговечность выносливость материала. Ввод металлических наночастиц в полимерную матрицу, приводит к образованию сетчатых образований с наночастицами в полимерных цепях. Наполнение эластомера Ф-40 наночастицами меди и алюминия повышает теплостойкость и теплопроводность нанокомпозита и значительно увеличивает теплоотвод от деталей восстановленного подшипникового узла. Температура деталей подшипникового узла, с посадкой, восстановленной нанокомпозитом эластомера Ф-40, ниже до 16 ^{o}С, в сравнении с ненаполненным материалом. Новым эластомерным нанокомпозитом рекомендуется восстанавливать корпусные детали автотракторной техники с диаметральным износом посадочных отверстий под подшипники до 0,25 мм.*

Ключевые слова: *эластомер, нанокомпозит, теплофизические и механические свойства, корпусная деталь, восстановление.*

ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE FOR RESTORATION WORN-OUT BODY PARTS VEHICLES AND TRACTORS

[1]***Li Roman***
[2]***Psarev Dmitry***
[3]***Kiba Maria***

[1]*FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"*
[2]*FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"*
[3]*FSBEI HE "St. Petersburg State University of Architecture and Construction"*

Abstract. *The restoration of worn-out body parts provides a significant reduction in the expenditure of funds for the repair of automotive and tractor equipment, a decrease in the environmental load due to a reduction in the need for electric energy, metals, and less environmental pollution. Disadvantages of most common methods of restoring body parts are analyzed in operation. Polymer nanocomposites that do not require complex technological equipment, large expenditures of repair materials and electricity, providing an increase in the efficiency of the recovery technology and postrepair service life of body parts and bearing assemblies, reducing the cost of material, it is proposed to use for these purposes. The effect of metal nanoparticles on the thermophysical and mechanical properties of a nanocomposite based on an F-40 elastomer filled with copper and aluminum nanoparticles was studied. It has been established that copper nanoparticles, due to their high ionization energy, form strong chemisorption bonds with the macromolecules of SKN-40 rubber, which provide a stabilizing effect during thermal destruction and increase the thermal stability of the elastomer. Filling the F-40 elastomer with copper and aluminum nanoparticles increases the modulus of elasticity, strength and durability of the material. The introduction of metal nanoparticles into a polymer matrix leads to the formation of network structures with nanoparticles in polymer chains. Filling the F-40 elastomer with copper and aluminum nanoparticles increases the heat resistance and thermal conductivity of the nanocomposite and significantly increases the heat removal from the parts of the restored bearing assembly. The temperature of the parts of the bearing assembly, with the fit, restored by the F-40 elastomer nanocomposite, is lower up to 16 ° C, in comparison with the unfilled material. It is recommended to use a new elastomeric nanocomposite to restore body parts of automotive vehicles with diametrical wear of bore holes for bearings up to 0.25 mm.*

Keywords: *elastomer, nanocomposite, thermophysical and mechanical properties, body part, restoration.*

Введение. Корпусные детали являются базисными, наиболее материалоемкими и дорогими деталями, ресурс которых определяет долговечность агрегатов и надежность машины в целом. Восстановление изношенных корпусных деталей обеспечивает существенное снижение расхода денежных средств на ремонт автотракторной техники. В сравнении с производством новых деталей, при восстановлении аналогичных деталей потребление металла сокращается до 30 раз [1 – 2]. Благодаря тому, что при восстановлении отсутствует металлургический цикл, для 1 тн стальных деталей требуется меньше: электрической энергии (до 180 кВт/ч), угля (до 0,8 тн), известняка (до 0,5 тн), природного газа (до 175 м^3). Современные способы восстановления обеспечивают не только компенсацию износа в детали, но и значительное увеличение ее послеремонтного ресурса, повышение надежности техники после восстановления [3…8]. Одним из основных дефектов, являющихся причиной выбраковки корпусных деталей автотракторной техники, является износ посадочных отверстий под подшипники качения. Данный дефект устраняют нанесением гальванических покрытий, электроконтактной приваркой стальной ленты, различными способами наплавки и другими способами основным недостатками которых являются: сложность технологического оборудования и процесса, энергоемкость, необходимость механической обработки отверстий.

Способы восстановления корпусных деталей полимерными материалами не требуют сложного технологического оборудования и высокой квалификации ремперсонала, больших затрат ремонтных материалов и электроэнергии, обеспечивают повышение послеремонтного ресурса корпусных деталей и подшипниковых узлов, валов и шестерен [9 – 11]. Перспективным

направлением, обеспечивающим высокую эффективность восстановления корпусных деталей автотракторной техники, является использование полимерных композитов. Благодаря наполнению полимера различными частицами органического и не органического происхождения значительно улучшаются потребительские свойства материала, существенно снижается стоимость материала и повышается эффективность технологии восстановления [12 – 17].

В настоящее время потребителю предлагается большой ассортимент наночастиц из различных материалов, которые отличаются формой, размером и другими параметрами. Благодаря высокой удельной поверхности наночастиц, в единице объема полимерной матрицы, в сравнении с микроразмерными частицами, имеет место значительно большее количество наночастиц. Поэтому существенное улучшение потребительских свойств полимерных нанокомпозитов достигается при относительно низких концентрациях наноразмерных наполнителей (до 5 %) [18 – 21].

Исследования и последующая разработка новых полимерных нанокомпозитов представляют большой научный и практический интерес, так как они обеспечивают в дальнейшем разработку перспективных высокоэффективных технологий восстановления посадочных отверстий, увеличивающих послеремонтный ресурс корпусных деталей, повышающих надежность и существенно снижающих затраты на ремонт автотракторной техники.

К полимерным материалам, используемым при восстановлении изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях агрегатов трансмиссии автомобилей и тракторов, предъявляются специфические требования. Чтобы иметь высокий ресурс, с учетом эксплуатационной температуры подшипникового узла, термоциклирования, необходимости теплоотвода от трущихся деталей подшипника, знакопеременных динамических нагрузок, условий сборки, материал должен иметь повышенную тепло- и термостойкость, теплопроводность, высокую адгезионную и когезионную прочность, выносливость и др. потребительские свойства [16 – 17].

Цель работы – исследование влияния металлических наночастиц на теплофизические и механические свойства эластомера Ф-40, определение оптимального состава эластомерного нанокомпозита для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники.

Материалы и методы. *Повышение термостойкости композита эластомера при введении металлических наночастиц.*Металлы переменной валентности могут быть катализаторами для одних и ингибиторами цепных радикальных процессов окисления для других видов каучука. Характер каталитического действия металла переменной валентности определяет строение каучука. Исследования Пиотровского К.Б. и Львова Ю.А. показали, что медь является катализатором для натурального каучука, а для бутадиен-нитрильных каучуков этот металл – ингибитор процесса окисления [22, 23]. В работе Михайлюк А.Е. установлено, что введение наночастиц металлов переменной валентности в эластомер увеличивает энергию активации процесса термодеструкции полимерного материала, т.е. повышает термостойкость композита [19]. Стабилизирующий эффект при термической деструкции эластомера вызван возникновением хемосорбционных связей между металлическими наночастицами и макромолекулами полимера. Металлы, которые использовали в качестве наполнителей, по степени увеличения термостойкости эластомера к высокотемпературной деструкции можно расположить в следующей последовательности: $Bi < Pb < Ni < Cu$.

В основе эластомера Ф-40 лежит бутадиен-нитрильный каучук СКН-40. Из перечня металлов, медь имеет наиболее высокую энергию ионизации, поэтому следует ожидать, что наночастицы меди образуют с макромолекулами каучука СКН-40 прочные хемосорбционные связи, вследствие чего термостойкость нанокомпозита на основе эластомера Ф-40 увеличится [24].

Модуль упругости эластомерного нанокомпозита В нанокомпозитах при взаимодействии полимера с частицей наполнителя на поверхности последней образуется адсорбированный слой (межфазная область), который свойствами существенно отличается от полимерной матрицы. Имеет место «замораживание» молекулярной подвижности полимера в межфазных областях, т.е. у поверхности наночастиц наполнителя. Частицы наполнителя и межфазные области являются армирующим элементом эластомерного нанокомпозита, повышающим его модуль упругости. В работе Козлова Г.В. исследован композит на основе бутадиен-стирольного каучука, наполненный наношунгитом. Установлено, что модуль упругости межфазного слоя меньше аналогичного параметра наполнителя только лишь на 23 – 45%, однако больше модуля упругости полимера до

8,5 раз [25]. Ввод лиофилизированных к каучуку высокодисперсных частиц алюминия, марганца, железа оказывает вулканизующее и усиливающее действие на композиты на основе хлоропренового и бутадиен-нитрильного каучуков [26].

Введение металлических наночастиц в раствор эластомера увеличивает его вязкость. Причиной увеличения вязкости и повышения сопротивления течению являются межфазные области с «замороженной» молекулярной подвижностью полимера в этих (межфазных) областях. Благодаря высокой удельной поверхности наночастиц, эффективное насыщение полимеров наполнителем (достижение экстремальных деформационно-прочностных свойств) достигается при низких концентрациях, до 5 масс.ч.

Особенности повышения прочности и трещиностойкости эластомерных композитов Влияние адгезии полимера к наполнителю рассмотрено в работе Воюцкого С.С. Адгезионная теория усиления эластомеров рассматривает композит как множество микроскопических адгезионных соединений типа эластомер – частица наполнителя. Установлено, что имеет место линейная зависимость прочности композитов от значений адгезии, которая подтверждает корректность адгезионной теории усиления эластомеров. Увеличение прочности эластомерного композита, который содержит цепочечные структуры, обеспечивается не за счет контакта частиц наполнителя между собой, а благодаря наличию в зазоре, окружающем место контакта, молекул полимера, каждая из которых прочно связана по крайней мере с двумя частицами наполнителя [27].

Различают четыре основных фактора усиления эластомеров: выравнивание напряжений при разрыве связей эластомер-наполнитель, притупление растущих трещин в материале, увеличение рассеивания энергии в объеме материала по линии разрыва, образование цепочечных структур частиц наполнителя между собой [28].

Резины на основе хлоропренового и бутадиен-нитрильного каучуков с высокодисперсными частицами металлов отличаются повышенными деформационно-прочностными свойствами. Причиной являются прочные связи каучук-металл, образующиеся в момент раскрытия двойных связей. Алюминий имеет наиболее высокую удельную поверхностную энергию разрушения. Использование частиц алюминия в качестве наполнителя полимерных материалов повышает поверхностную энергию разрушения, прочность, трещиностойкость и выносливость композитов. Поэтому, наполнение эластомера Ф-40 на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-40, наночастицами алюминия приведет к увеличению прочности и долговечности нанокомпозита [29].

Повышение теплостойкости, и теплопроводности композита эластомера при введении металлических наночастиц. Эластомеры ГЭН-150(В), герметик 6Ф, лаки Ф-40 и Ф-40С, в сравнении с анаэробными герметиками, акриловыми и цианакрилатными адгезивами, отличаются относительно не высокой теплостойкостью. Теплостойкость герметика 6Ф, лаков Ф-40 и Ф-40С, имеющих примерно одинаковую основу составляет около 100°С [9]. Учитывая, что подшипники обычного исполнения нагреваются при работе до температур 70…90°С, необходимо, чтобы полимерные материалы для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях, обладали большим температурным запасом по теплостойкости.

Наполнение полимерных материалов микроразмерными металлическими частицами практически не изменяет теплостойкость и температуру стеклования композита [30]. Теплостойкость микрокомпозита фактически определяется теплостойкостью полимерной матрицы.

Совершенно другая картина наблюдается в полимерных нанокомпозитах. Наполнение полимерной матрицы металлическими наночастицами, приводит к образованию сетчатых образований с наночастицами в узлах. По этой причине молекулярная подвижность полимерных цепей уменьшается, а теплостойкость соответственно увеличивается. В нанокомпозитах при взаимодействии полимера с частицей наполнителя на поверхности последней образуется адсорбированный слой (межфазная область), который свойствами существенно отличается от полимерной матрицы. Имеет место «замораживание» молекулярной подвижности полимера в межфазных областях, т.е. у поверхности наночастиц наполнителя. Модуль упругости межфазного меньше аналогичного параметра материала наполнителя, но многократно превышает модуль упругости полимера матрицы [25]. В виду высокой удельной поверхности наночастиц наполнителя, доля межфазных областей в полимерном нанокомпозите значительно больше, чем в микрокомпозите. «Замораживание» молекулярной подвижности полимера в межфазных областях,

повышение модуля упругости, являются причиной увеличения теплостойкости нанокомпозита в сравнении с не наполненным эластомером.

Наиболее высоким коэффициентом теплопроводности обладают частицы серебра, меди и алюминия. В виду очень высокой цены использование серебра в качестве наполнителя не является экономически целесообразным. По этой причине, для повышения теплопроводности нанокомпозита на основе эластомера Ф-40 следует в качестве наполнителей использовать наночастицы меди и алюминия [31].

Результаты и их обсуждение. *Исследование и оптимизация состава нанокомпозита.* Априорная информация установила нелинейность зависимости параметра α_p от состава нанокомпозита. Активный эксперимент провели по композиционному плану B_2 [32]. Функцией отклика Y принята удельная работа разрушения α_p, МДж/м^3, а независимыми факторами: X_1 – содержание наночастиц алюминия, масс.ч., X_2 – содержание наночастиц меди, масс.ч.

В результате регрессионного анализа получено уравнение регрессии:

$$Y = -15{,}296 + 18{,}903X_1 + 13{,}509X_2 - 0{,}15X_1X_2 - 5{,}08X_1^2 - 4{,}08X_2^2$$

Поверхность отклика и её двумерное сечение представлены на рисунках 1 и 2.

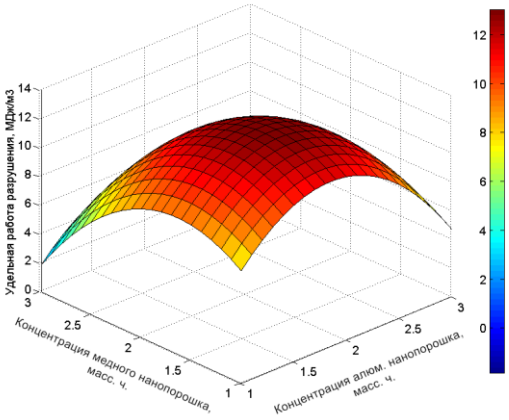


Рисунок 1. – Поверхность отклика

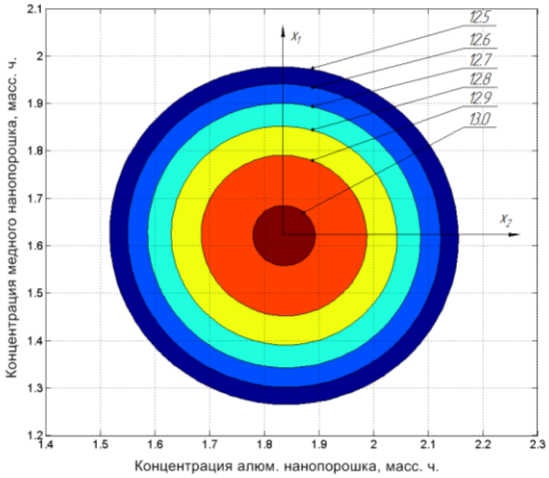


Рисунок 2 – Двумерное сечение поверхности отклика

Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40. Максимальной удельной работой разрушения 13,0 МДж/м^3 обладают пленки композита, следующего состава: эластомер Ф-40 – 100 масс.ч., алюминиевого нанопорошка – 1,9 масс. ч. и медного нанопорошка – 1,8 масс. ч. [29]

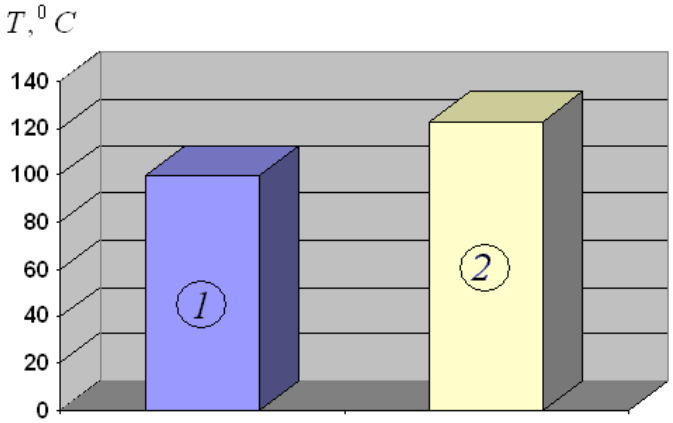
Исследование модуля упругости нанокомпозита. Эксперимент показал, что наполнение эластомера Ф-40 алюминиевыми и медными наночастицами увеличивает модуль упругости материала: на растяжение в 1,2, сжатие – 1,3 раза.

Исследование адгезии нанокомпозита. Адгезию полимерных материалов оценивали прочностью связи материала с металлом при отслаивании образцов. Исследовали составы: №1 эластомер Ф-40 – 100 масс. ч., Al – 1 масс. ч., Cu – 0,6 масс. ч.; №2: Ф-40 – 100 масс. ч., Al – 2 масс. ч., Cu – 1,6 масс. ч.; №3: Ф-40 – 100 масс. ч., Al – 3 масс. ч., Cu – 2,6 масс. ч. Минимальную адгезию имеют покрытия эластомера Ф-40, $F = 3310 H/м$. Максимальную адгезию имеют покрытия состава №2. Показатель адгезии составляет $F = 9560 H/м$ и превышает аналогичный параметр не наполненного эластомера в 2,89 раза, покрытий состава №1 и №3 – 1,57 и 1,17 раза.

Поэтому, с учетом результатов проведенного активного эксперимента, принят оптимальный состав нанокомпозита: раствор эластомера Ф-40 – 100 масс. ч., нанопорошок алюминия – 2,0 масс. ч., нанопорошок меди – 1,6 масс. ч. Этот состав обладает наиболее высокими деформационно-прочностными и адгезионными свойствами.

Исследование теплостойкости нанокомпозита. Теплостойкость полимерного материала является важнейшей эксплуатационной характеристикой, определяющей предельную допустимую температуру использования материала в реальных условиях эксплуатации.

На рисунке 3 показаны результаты исследования теплостойкости покрытий эластомера Ф-40 и нанокомпозита на его основе.



1 – эластомер Ф-40; 2 – нанокомпозит на его основе

Рисунок 3 – Температура теплостойкости

Как следует из рисунка 3 теплостойкость не наполненного эластомера Ф-40 составляет 100 °С. Теплостойкость, при наполнении эластомера нанопорошками меди и алюминия, повысилась в сравнении с не наполненным эластомером в 1,23 раза и составила 123°С.

Сравнительные исследования теплопроводности материалов. Полимерные материалы относятся к категории теплоизоляторов, так как их теплопроводность отличается в меньшую сторону от аналогичного параметра черных металлов приблизительно в 100 раз. По этой причине возможно ухудшение теплоотвода в восстановленных подшипниковых узлах в условиях эксплуатации. В тяжело нагруженных подшипниковых узлах техники увеличение температуры полимерного материала из-за гистерезисных потерь, затрудненный теплоотвод могут стать причиной существенного повышения температуры подшипника и смазочного материала и, при определенных условиях, понижения долговечности подшипникового узла.

Результаты исследований теплопроводности эластомера Ф-40 и нанокомпозита на его основе показаны на рисунке 4.

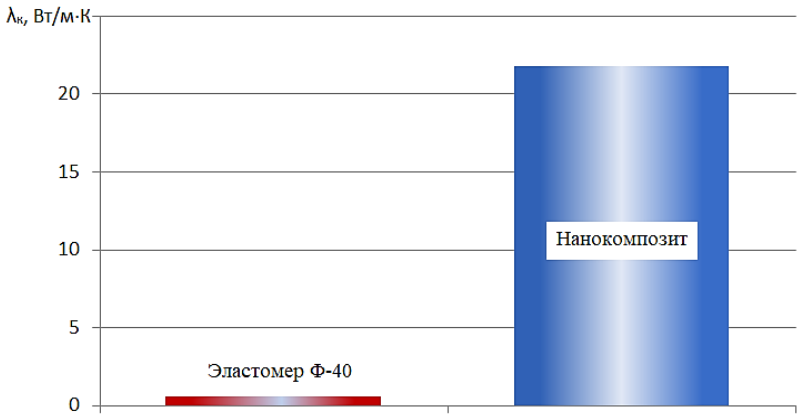


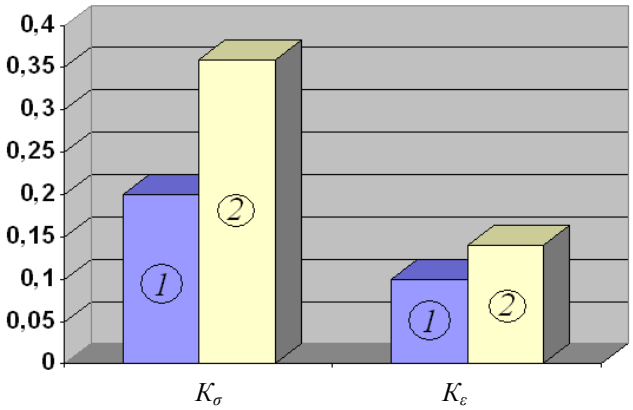
Рисунок 4 – Коэффициент теплопроводности эластомера Ф-40 и нанокомпозита на его основе

Как видно из рисунка 4, у образцов эластомера Ф-40 значение коэффициента теплопроводности составило $\lambda_к$ = *0,56 Вт/м К*. Образцы нанокомпозита показали значение

коэффициента теплопроводности $\lambda_к$ = *21,8 Вт/м К*. Благодаря вводу в эластомер наночастиц алюминия и меди коэффициент теплопроводности увеличился в 38,9 раза.

Сравнительные исследования термостойкости материалов. Медь является ингибитором процесса окисления бутадиен-нитрильных каучуков [24], поэтому в нашей работе предложено наполнять эластомер Ф-40 наночастицами меди, что позволит связать свободные радикалы, образующиеся при термораспаде и повысить термостойкость эластомера.

Исследования термостойкости эластомера Ф-40 и нанокомпозита на его основе проводили, измеряя прочность и деформацию образцов материала при одноосном растяжении до и после старения, которое проводили в условиях ограниченного доступа воздуха кислорода при температуре 250 °С в течение 2 ч. На рисунке 5 показаны коэффициенты старения по прочности K_σ и относительному удлинению K_ε эластомера Ф-40 и его нанокомпозита. Термостойкость нанокомпозита, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40, существенно повысилась. Коэффициенты старения нанокомпозита больше аналогичных показателей полимерной матрицы, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита: по прочности K_σ увеличился в 1,8 раза (от 0,2 до 0,36); по деформации K_ε повысился в 1,4 раза (от 0,1 до 0,14).



1 – эластомер Ф-40; 2 – нанокомпозит на его основе [24]

Рисунок 5 – Коэффициенты старения по условной прочности K_σ и относительному удлинению K_ε

Исследование долговечности и теплового баланса посадок подшипников, восстановленных нанокомпозитом эластомера Ф-40. Стендовые испытания показали, что наполнение эластомера Ф-40 металлическими наночастицами повышает выносливость материала и соответственно долговечность восстановленных посадок подшипников в корпусной детали при циклическом нагружении. Максимальная допустимая толщина покрытия эластомера Ф-40 составляет 0,1 мм, а его нанокомпозита – 0,125мм (рисунок 6).

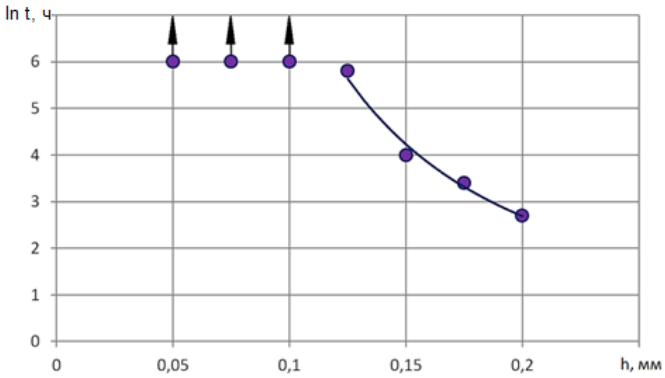


Рисунок 6 – Зависимость ресурса полимерных посадок *t* подшипника 209 от толщины *h* покрытия из нанокомпозита на основе эластомера Ф-40 [31]

Поэтому новым эластомерным нанокомпозитом следует восстанавливать посадочные отверстия в корпусных деталях с диаметральным износом до 0,25 мм [31].

Исследования теплового баланса показали, что наполнение эластомера Ф-40 нанопорошками алюминия и меди существенно повышает теплопроводность полимерного покрытия и увеличивает теплоотвод от деталей восстановленного подшипникового узла. Температура втулки подшипникового узла с посадкой, восстановленной нанокомпозитом эластомера Ф-40, составила 44, 49 и 54 ^{o}C при значениях циклической радиальной нагрузки P = 9,9; 15,8 и 20,0 кН соответственно, что на 6,4; 10,9 и 22,8 % меньше, чем у не наполненного эластомера.

Температура наружного кольца подшипникового узла с посадкой, восстановленной нанокомпозитом эластомера Ф-40, составила 37, 40 и 43 ^{o}C при значениях циклической радиальной нагрузки 9,9; 15,8 и 20,0 кН соответственно, что на 7,5; 9,1 и 10,4 % меньше, чем у не наполненного эластомера.

Выводы.

1. Наночастицы меди, благодаря высокой энергии ионизации, взаимодействуя с макромолекулами каучука СКН-40, образуют прочные хемосорбционные связи, которые обеспечивают стабилизирующий эффект при термической деструкции и повышают термостойкость эластомера.

Наполнение эластомера Ф-40 наночастицами меди и алюминия повышает модуль упругости, прочность и долговечность выносливость материала.

Ввод металлических наночастиц в полимерную матрицу, приводит к образованию сетчатых образований с наночастицами в полимерных цепях. При этом молекулярная подвижность цепей снижается, а теплостойкость нанокомпозита увеличивается. Медь и алюминий обладают наиболее высокой теплопроводностью. Поэтому наполнение эластомера Ф-40 наночастицами меди и алюминия повысит теплостойкость и теплопроводность нанокомпозита.

2. Установлен оптимальный состав нанокомпозита, при котором материал имеет наиболее высокие механические свойства: эластомер Ф-40 – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок – 2,0 масс. ч. и медный нанопорошок – 1,6 масс. ч. Нанокомпозит имеет высокую удельную работу разрушения 12,9 МДж/м^3. В сравнении с не наполненным эластомером модуль упругости нанокомпозита увеличился до 1,65 раза, а адгезия – 2,9 раза.

3. Теплостойкость нанокомпозита повысилась, в сравнении с не наполненным эластомером, в 1,23 раза и составила 123 ^{o}C.

Наполнение наночастицами алюминия и меди увеличивает коэффициент теплопроводности нанокомпозита до $\lambda_к = 21,8$ *Вт/м К*., что в 38,9 раза превышает коэффициент теплопроводности эластомера Ф-40. Коэффициенты старения нанокомпозита по прочности в 1,8 раза, а по деформации в 1,4 раза больше аналогичных показателей полимерной матрицы, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита.

4. Новым эластомерным нанокомпозитом рекомендуется восстанавливать корпусные детали автотракторной техники с диаметральным износом посадочных отверстий под подшипники до 0,25 мм. Наполнение эластомера Ф-40 нанопорошками алюминия и меди повышает теплопроводность материала и значительно увеличивает теплоотвод от деталей восстановленного подшипникового узла. Температура деталей подшипникового узла, с посадкой, восстановленной нанокомпозитом эластомера Ф-40, ниже до 16 ^{o}C в сравнении с ненаполненным материалом.

Список литературы

1. Бобович Б.Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов: учеб. пособие. – М.: Форум. – 2011. – 167 с.

2. Черноиванов В.И. Голубев И.Г. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2010. – 376 с.

3. Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие. – Липецк: Изд-во ЛГТУ. – 2014. – 379 с.

4. Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 10. – С. 16 – 21.

5. Кононенко А.С., Кузнецов И.А. Восстановление посадочных мест под подшипники качения в корпусных деталях машин полимерными нанокомпозитами // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124 (2). – С. 81 – 85.

6. Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 130 – 134.

7. Кононенко А.С., Соловьева А.А. Повышение прочностных характеристик анаэробных полимерных составов, используемых при восстановлении посадок подшипников качения // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 2. – С. 35 – 38.

8. Надежность и ремонт машин / под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос. – 2000. – 776 с.

9. Курчаткин В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дисс. ... д-ра техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Москва. – 1989. – 407 с.

10. Ли Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – № 4. – С. 33 – 38.

11. Ли Р.И., Псарев Д.Н. Модель формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – № 2. – С. 34 – 38.

12. Машин Д.В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники композицией на основе эластомера Ф – 40С: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Мичуринск. – 2013. – 149 с.

13. Бочаров А.В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками: дис. ... канд. техн. наук. . 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Мичуринск. – 2009. – 150 с.

14. Ли Р.И., Псарев Д.Н., Мироненко А.В., Киба М.Р. Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин // Клеи. Герметики, Технологии. – 2017. – № 5. – С. 34 – 37.

15. Колесников А.А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта. – Орел. – 2017. – 179 с.

16. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: Монография. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета. – 2017. – 224 с.

17. Ли Р.И., Машин Д.В. Теоретические аспекты повышения эффективности восстановления корпусных деталей сельскохозяйственной техники композициями на основе эластомеров // Вестник МичГАУ. – 2013. – № 1. – С. 53 – 55.

18. Малюгин В.А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей нанокомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Мичуринск. – 2019. – 169 с.

19. Михайлюк А.Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения. – Волгоград. – 2014. – 140 с.

20. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – Москва: Химия. – 2000. – 672 с.

21. Кособудский И.Д. Наноразмерные металлические частицы в полимерных матрицах: I. Синтез, механизмы образования и стабилизации // Известия высших учебных заведений. – 2000. – Т. 43 (4). – С. 3 – 18.

22. Пиотровский К.Б., Тарасова З.Н. Старение и стабилизация синтетических каучуков и вулканизатов. – Москва: Химия. – 1980. – 264 с.

23. Львов Ю.А., Пиотровский К.Б., Авдеевич Т.А. Влияние металлов переменной валентности на стабильность бутадиен-нитрильного каучука в условиях термоокисления // Каучук и резина. – 1972. – № 9. – С. 18 – 22.

24. Li R.I., Psarev D.N., Kiba M.R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12. – No. 1. – Pp. 15 – 19.

25. Козлов Г.В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов // Успехи физических наук. – 2015 – т. 185. – № 1. – С. 35 – 64.

26. Halpin J. J. Appl. Phys. – 1964. – v. 35. – P. 3133 – 3142.

27. Воюцкий С.С., Раевский В.Г., Ягнатинская С.М. Успехи коллоидной химии. – М.: Наука. – 1977. – С. 330 – 347.

28. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. – М.: Химия. – 1977. – 304 с.

29. Li R.I., Psarev D.N., Kiba M.R.. Promising Nanocomposite Based on Elastomer F-40 for Repairing Base Members of Machines. // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12. – No. 2. – Pp. 128 – 132.

30. Наполнители для полимерных композиционных материалов. / Под ред. Г.С. Каца и Д.В. Милевски. Пер. с англ. / Под ред. П. Г. Бабаевского. – М.: Химия. – 1981. – 736 с.

31. Киба М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. – Мичуринск. – 2020. – 164 с.

32. Ли Р.И. Основы научных исследований. – Липецк: Изд-во ЛГТУ. – 2013. – 190 с.

References

1. Bobovich B.B. Utilizacija avtomobilej i avtokomponentov: ucheb. posobie. – M.: Forum. – 2011. – 167 s.

2. Chernoivanov V.I. Golubev I.G. Vosstanovlenie detalej mashin (Sostojanie i perspektivy). – M.: FGNU «Rosinformagroteh». – 2010. – 376 s.

3. Li R.I. Tehnologii vosstanovlenija i uprochnenija detalej avtotraktornoj tehniki: ucheb. posobie. – Lipeck: Izd-vo LGTU. – 2014. – 379 s.

4. Kolomejchenko A.V., Kravchenko I.N., Puzrjakov A.F., Logachjov V.N., Titov N.V. Tehnologija vosstanovlenija s uprochneniem detalej mashin na osnove primenenija mikrodugovogo oksidirovanija // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2014. – № 10. – S. 16 – 21.

5. Kononenko A.S., Kuznecov I.A. Vosstanovlenie posadochnyh mest pod podshipniki kachenija v korpusnyh detaljah mashin polimernymi nanokompozitami // Trudy GOSNITI. – 2016. – T. 124 (2). – S. 81 – 85.

6. Zhachkin S.Ju., Krasnova M.N., Pen'kov N.A., Krasnov A.I. Modelirovanie mehanicheskogo vozdejstvija instrumenta pri poluchenii gal'vanicheskih kompozitnyh pokrytij // Trudy GOSNITI. – 2015. – T. 120. – S. 130 – 134.

7. Kononenko A.S., Solov'eva A.A. Povyshenie prochnostnyh harakteristik anajerobnyh polimernyh sostavov, ispol'zuemyh pri vosstanovlenii posadok podshipnikov kachenija // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. – 2019. – № 2. – S. 35 – 38.

8. Nadezhnost' i remont mashin / pod red. V.V. Kurchatkina. – M.: Kolos. – 2000. – 776 s.

9. Kurchatkin V.V. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kachenija sel'skohozjajstvennoj tehniki polimernymi materialami: diss. ... d-ra tehn. nauk. 05.20.03 – Tehnologii i sredstva tehnicheskogo obsluzhivanija v sel'skom hozjajstve. – Moskva. – 1989. – 407 s.

10. Li R.I. Uslovija formirovanija ravnomernogo polimernogo pokrytija na naruzhnoj poverhnosti vrashhajushhejsja cilindricheskoj detali // Klei. Germetiki. Tehnologii – 2015. – № 4. – S. 33 – 38.

11. Li R.I., Psarev D.N. Model' formirovanija ravnomernogo polimernogo pokrytija na naruzhnoj poverhnosti vrashhajushhejsja cilindricheskoj detali // Klei. Germetiki. Tehnologii – 2015. – № 2. – S. 34 – 38.

12. Mashin D.V. Povyshenie jeffektivnosti vosstanovlenija posadochnyh otverstij v korpusnyh detaljah sel'skohozjajstvennoj tehniki kompoziciej na osnove jelastomera F – 40S: dis. ... kand. tehn. nauk. 05.20.03 – Tehnologii i sredstva tehnicheskogo obsluzhivanija v sel'skom hozjajstve. – Michurinsk. – 2013. – 149 s.

13. Bocharov A.V. Povyshenie jeffektivnosti vosstanovlenija nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kachenija sel'skohozjajstvennoj tehniki adgezivami, napolnennymi dispersnymi metallicheskimi poroshkami: dis. ... kand. tehn. nauk. . 05.20.03 – Tehnologii i sredstva tehnicheskogo obsluzhivanija v sel'skom hozjajstve. – Michurinsk. – 2009. – 150 s.

14. Li R.I., Psarev D.N., Mironenko A.V., Kiba M.R. Perspektivnyj polimernyj material dlja vosstanovlenija korpusnyh detalej mashin // Klei. Germetiki, Tehnologii. – 2017. – № 5. – S. 34 – 37.

15. Kolesnikov A.A. Povyshenie kachestva vosstanovlenija korpusnyh detalej avtomobilej polimernymi kompozicionnymi materialami posle ul'trazvukovoj obrabotki: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.22.10 – Jekspluatacija avtomobil'nogo transporta. – Orel. – 2017. – 179 s.

16. Li R.I. Polimernye kompozicionnye materialy dlja fiksacii podshipnikov kachenija v uzlah mashin: Monografija. – Lipeck: Izd-vo Lipeckogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2017. – 224 s.

17. Li R.I., Mashin D.V. Teoreticheskie aspekty povyshenija jeffektivnosti vosstanovlenija korpusnyh detalej sel'skohozjajstvennoj tehniki kompozicijami na osnove jelastomerov // Vestnik MichGAU. – 2013. – № 1. – S. 53 – 55.

18. Maljugin V.A. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kachenija avtomobilej nanokompozitom na osnove anajerobnogo germetika AN-111: dis. ... kand. tehn. nauk. 05.20.03 – Tehnologii i sredstva tehnicheskogo obsluzhivanija v sel'skom hozjajstve. – Michurinsk. – 2019. – 169 s.
19. Mihajljuk A.E. Razrabotka jelastomernyh materialov na osnove jetilenpropilenovyh kauchukov, modificirovannyh vysokodispersnymi chasticami metallov [Tekst]: dis. ... kand. tehn. nauk: 02.00.06 – Vysokomolekuljarnye soedinenija. – Volgograd. – 2014. – 140 s.
20. Pomogajlo A.D., Rozenberg A.S., Ufljand I.E. Nanochasticy metallov v polimerah. – Moskva: Himija. – 2000. – 672 s.
21. Kosobudskij I.D. Nanorazmernye metallicheskie chasticy v polimernyh matricah: I. Sintez, mehanizmy obrazovanija i stabilizacii // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. – 2000. – T. 43 (4). – S. 3 – 18.
22. Piotrovskij K.B., Tarasova Z.N. Starenie i stabilizacija sinteticheskih kauchukov i vulkanizatov. – Moskva: Himija. – 1980. – 264 s.
23. L'vov Ju.A., Piotrovskij K.B., Avdeevich T.A. Vlijanie metallov peremennoj valentnosti na stabil'nost' butadien-nitril'nogo kauchuka v uslovijah termookislenija // Kauchuk i rezina. – 1972. – № 9. – S. 18 – 22.
24. Li R.I., Psarev D.N., Kiba M.R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12. – No. 1. – Rp. 15 – 19.
25. Kozlov G.V. Struktura i svojstva dispersno-napolnennyh polimernyh nanokompozitov // Uspehi fizicheskih nauk. – 2015 – t. 185. – № 1. – S. 35 – 64.
26. Halpin J. J. Appl. Phys. – 1964. – v. 35. – R. 3133 – 3142.
27. Vojuckij S.S., Raevskij V.G., Jagnatinskaja S.M. Uspehi kolloidnoj himii. – M.: Nauka. – 1977. – S. 330 – 347.
28. Lipatov Ju.S. Fizicheskaja himija napolnennyh polimerov. – M.: Himija. – 1977. – 304 s.
29. Li R.I., Psarev D.N., Kiba M.R.. Promising Nanocomposite Based on Elastomer F-40 for Repairing Base Members of Machines. // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12. – No. 2. – Rp. 128 – 132.
30. Napolniteli dlja polimernyh kompozicionnyh materialov. / Pod red. G.S. Kaca i D.V. Milevski. Per. s angl. / Pod red. P. G. Babaevskogo. – M.: Himija. – 1981. – 736 s.
31. Kiba M.R. Vosstanovlenie posadochnyh otverstij v korpusnyh detaljah sel'skohozjajstvennoj tehniki nanokompozitom na osnove jelastomera F-40: dis. ... kand. tehn. nauk. 05.20.03 – Tehnologii i sredstva tehnicheskogo obsluzhivanija v sel'skom hozjajstve. – Michurinsk. – 2020. – 164 s.
32. Li R.I. Osnovy nauchnyh issledovanij. – Lipeck: Izd-vo LGTU. – 2013. – 190 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Киба Мария Романовна – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Li Roman – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: romanlee@list.ru.

Psarev Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Kiba Maria – senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State University of Architecture and Construction”, Russia, St. Petersburg, e-mail: loseroff@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.12.2020 Принята к публикации (Accepted): 29.01.2021

УДК 635.21:[631.8+632.9]
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-80-87

ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЯ

[1]Жевора Сергей Валентинович
[1]Старовойтов Виктор Иванович
[2]Яшин Александр Яковлевич
[3]Манохина Александра Анатольевна
[4]Яшин Яков Иванович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха»
[2]ООО «Институт аналитической токсикологии»
[3]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
[4]ООО «Интерлаб»

Реферат. *Дан анализ последних мировых достижений и современного понимания влияния на здоровье человека антиоксидантной активности картофеля. Отмечено, что антиоксиданты картофеля подавляют вредное воздействие избыточного содержания в биологических жидкостях человека свободных радикалов и реакционных кислородных и азотных соединений. Приведен химический состав картофеля. Определено, что в клубнях картофеля присутствуют такие антиоксиданты, как: флавоноиды (рутин, кемпферол-3-рутинозид, гликозид кверцетина, катехин, эпикатехин, квецетрин, изокверцетрин), антоцианины (гликозиды пеларгонидина, пеонидина, петунидина и малвидина, пеларгонидин и малвидин присутствуют также в виде агликонов, то есть без сахарных остатков), фенольные кислоты (хлорогеновая, криптохлорогеновая, неохлорогеновая, кофейная, кумариновая, протокатехиновая, ванилиновая, феруловая, галловая, п-гидроксибензойная, эллаговая), каротиноиды (лутеин, зеаксантин, ликопин, бета-криптоксантин, альфа-каротин, бета-каротин). Сравнительным анализом показано, что в печеном картофеле антиоксидантная активность по методу ORAC составляет 1098 – 1652 ед. тролокс/моль, что выше, чем в сыром (1010 – 1272 ед. тролокс/моль). Это объясняется тем, что из печеного картофеля антиоксидантов экстрагируется больше, чем из сырого картофеля. Суммарное содержание антиоксидантов, измеренное амперометрическим методом в разных сортах картофеля (стандарт – галловая кислота) составило 17 – 124 мг / 100 г. Наибольшее – в клубнях сортов Сирень (124), Юбилей Жукова (70), Василек (65), наименьшее – Ред Скарлет и Импала (17).*

Ключевые слова*: исследования, картофель, химический состав, сорт, антиоксидантная активность, крахмал.*

RESEARCH OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF POTATOES

[1]Zhevora Sergej
[1]Starovoitov Viktor
[2]Yashin Aleksandr
[3]Manokhina Aleksandra
[4]Yashin Yakov

[1]FSBSI "Lorch Potato Research Institute"
[2]LLC "Institute of Analytical Toxicology"
[3]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"
[4]LLC "Interlab"

Abstract. *The analysis of the latest world achievements and modern understanding of the effect of potato antioxidant activity on human health is given. It is noted that potato antioxidants suppress the harmful effects of excess free radicals and reactive oxygen and nitrogen compounds in human biological*

fluids. The chemical composition of potatoes is given. It was determined that potato tubers contain such antioxidants as: flavonoids (rutin, kaempferol-3-rutinoside, quercetin glycoside, catechin, epicatechin, quercetrin, isoquercetrin), anthocyanins (glycosides of pelargonidin, peonidine and malvidinidin, petunidin in the form of aglycones, that is, without sugar residues), phenolic acids (chlorogenic, crypto chlorogenic, neochlorogenic, coffee, coumaric, protocatechin, vanillic, ferulic, gallic, p-hydroxybenzoic, ellagic), carotenoids, lycopene-bentinetin, zeaxopin , alpha-carotene, beta-carotene). It has been shown by means of comparative analysis that in baked potatoes the antioxidant activity according to the ORAC method is 1098 – 1652 units. trolox / mol, which is higher than in raw (1010 – 1272 trolox units / mol). This is explained by the fact that more antioxidants are extracted from baked potatoes than from raw potatoes. The total content of antioxidants measured by the amperometric method in different varieties of potatoes (standard - gallic acid) was 17 – 124 mg / 100 g. Red Scarlet and Impala (17).

Keywords: *research, potatoes, chemical composition, variety, antioxidant activity, starch.*

Введение. Картофель – четвертая после риса, пшеницы и кукурузы важная пищевая культура для человечества, которая имеет много достоинств: легкодоступна, дешева, выращивается в 150 странах при разных климатических условиях, хорошо сохраняется и легко перерабатывается в различные полезные продукты. Картофель имеет высокую пищевую ценность, богат витаминами, микроэлементами и природными антиоксидантами.

Впервые картофель зафиксирован более 7000 лет назад высоко в Андах около озера Титикака между Перу и Боливией. Известны два родоначальных вида картофеля: Solanum tuberosum andigeka из Анд и Solanum tuberosum из Чили. Обнаружено двести диких сортов картофеля и более 4000 культивируемых. Выращивают картофель в 150 странах с разными климатическими условиями. Мировое производство картофеля 374 млн т.(2017г). Страны, производящие более всего картофеля следующие (в млн. т): Китай – 90, Россия – 28,5, Индия – 24, США – 20. Урожайность картофеля в разных странах колеблется в пределах 11-43 т/га. Потребление картофеля на душу населения в год (кг/год): Россия – 98, Европа – 96, США – 55, Китай – 40.

Производство картофеля растет в мире, более половины картофеля перерабатывается в разнообразные продукты (в том числе и в ЧИПсы).

В Испанию картофель привезен конкистадорами в 1530 г из Перу. В течение 16 века картофель распространился по основным странам Европы. В 1769 г картофель достиг Новой Зеландии. В России картофель стали выращивать при Петре 1 вместо репы.

Выращивание картофеля сегодня относится к глобальной индустрии. В настоящее время выращивание картофеля основывается на применение передовых технологий координатного (точного) земледелия, что позволяет обеспечить высокую механизацию и автоматизацию технологических процессов и получать высокие стабильные урожаи [1 – 3].

Специализированные отечественные журналы «Картофельная система», «Картофель и овощи», Защита картофеля» и др. публикуют результаты научных исследований в различных областях, связанных с выращиванием картофеля. Научные достижения в картофелеведении отражает и известный американский журнал The American Journal of Potato Research (AJPR), включая биотехнологию, селекцию и генетику, управление растениеводством, исследования болезней и вредителей, экономику и маркетинг, питание, физиологию, послеуборочную обработку и качество.

В последние годы проявляется повышенный интерес к антиоксидантной активности картофеля, особенно к сортам с пигментированной мякотью клубней. За счет содержания полифенолов – антиоксидантов, каротиноидов, витаминов С, Е, В, картофель благотворно влияет на здоровье человека, снижает риск сердечно-сосудистых, некоторых онкологических заболеваний, диабета, подавляет окислительный стресс. Можно выделить основные полезные действия: употребление картофеля защищает от полипов, улучшает работу микробиоты, задерживает старение, помогает глазам, от ревматизма, уменьшает воспалительные процессы, снижает кровяное давление, предотвращает образование камней в почках. Потребление картофеля подавляет действие enteric вирусов В, тормозит развитие онкологических болезней, в частности, колоректального рака.

Химический состав картофеля. В последние годы химический состав картофеля определялся современными методами, в первую очередь хроматографическими. О составе

картофеля, условиях его выращивании и переработки вышли книги и обзоры [4 – 8]. В настоящее время состав картофеля хорошо известен, однако он сильно колеблется в зависимости от генетики, условий выращивания, почвы и окружающей среды [6, 8]. В таблице 1 приведены данные о химическом составе картофеля [4].

Таблица 1 – Химический состав картофеля

Вещества	Содержание
Крахмал	12,6-18,2 %
Глюкоза	0,01-0,6 %
Фруктоза	0,01-0,6 %
Сахароза	0,13-0,68 %
Пищевая клетчатка	1-2 %
Белки	0,6-2,1 %
Свободные аминокислоты	
Аспарагин	110-529 мг/100г
Глутамин	25-409 мг/100г
Пролин	2-209 мг/100г
Другие аминокислоты	0,2-117 мг/100г
Полифенолы	123-441 мг/100г
Каротиноиды	0,05-2 мг/100г
Витамины	
Токоферолы	до 0,3 мг/100мг
Тиамин B1	0,02-0,2 мг/100гр
Рибофлавин	0,01-0,7 мг/100г
Витамин B6	0,13-0,44 мг/100мг
Витамин C	8-54 мг/100г
Фолиевая кислота	0,01-0,03 мг/100г
Микроэлементы	
Калий	280-564 мг/100г
Фосфор	30-60 мг/100г
Кальций	5-18 мг/100г
Магний	14-18 мг/100г
Железо	0,4-1,6 мг/100г
Цинк	0,3 мг/100г
Гликоалкалоиды	20 мг/100г
Холин	57 мг/100г

Аккумулированию витаминов E и B9 в клубнях картофеля посвящены отдельные работы, влияние переработки картофеля на его гликемический индекс рассмотрен в работе [9]. Фундаментальное исследование посвящено генетике и геномике картофеля [8].

Крахмал в картофеле двух типов: высоко разветвленный амилпектин (70 – 80 % от общего содержания крахмала) и линейная амилоза (20 – 30 %). Крахмал картофеля уникален, т.к. содержит значительное количество монофосфатных эфиров, ковалентно связанных с амилпектином.

Картофель содержит 1 – 2 % пищевой клетчатки, она помогает снизить холестерин в крови и полезна для микробиоты кишечника.

Свежий картофель содержит мало жиров (менее 0,1 %) и холестерина. Картофель содержит белки до 2 % с хорошим составом аминокислот, 40 %-растворимый белок, классифицируется как гликобелок, этот белок высокого качества. Среди корнеплодов картофель – самый богатый источник белка.

Картофель содержит значительное количество калия, магния, фосфора и других микроэлементов, приведенных в таблице 1, широкий набор витаминов, среди которых следует выделить витамин C. В картофеле имеется холин, помогающий работе мышц, развитию памяти и обучению. Одна большая картофелина содержит до 57 мг холина.

Микроэлементы и витамины картофеля предотвращает остеопороз, помогает формированию хорошей структуры костей. Клетчатка, калий, магний и витамины С и В6 способствуют поддержание здоровья сердца.

Антиоксидантная активность картофеля. Антиоксидантная активность (АА) картофеля на уровне АА томатов, моркови и некоторых салатов, но меньше, чем у ягод. Однако, в отличие от ягод картофель доступен круглый год, его регулярно едят во всем мире в количествах больших, чем ягоды и фрукты. Поэтому в некоторых странах картофель считают одним из основных источников антиоксидантов. Известно, что самые сильные антиоксиданты – это флавоноиды, фенольные кислоты, стильбены, каротиноиды, лигнаны и другие. Антиоксиданты признаются неотъемлемой частью здорового и полноценного питания наряду с белками, жирами, углеводами, витаминами и микроэлементами. Регулярное потребление антиоксидантов с пищей защищает человека от опасных болезней и преждевременного старения. По содержанию всех питательных веществ (макронутриентов и микронутриентов) картофель, несомненно, один из самых сбалансированных продуктов питания, в нем есть все для полноценного питания кроме жиров.

Определению полифенолов-антиоксидантов в картофеле посвящены многие работы [10 – 13]. Многие измерения выполнены хроматографическими методами [10 – 12]. Антиоксидантная активность разных сортов картофеля определена во многих работах [13 – 14]. В таблице 2 приведен список антиоксидантов, присутствующих в картофеле.

Таблица 2 – Список антиоксидантов, присутствующих в картофеле

Классы соединений	индивидуальные соединения	ссылки
Флавоноиды	рутин, кемпферол-3-рутинозид, гликозид кверцетина, катехин, эпикатехин, квецетрин, изокверцетрин	7, 8, 15
Антоцианины	гликозиды пеларгонидина, пеонидина, петунидина и малвидина. Пеларгонидин и малвидин присутствуют также в виде агликонов, т.е. без сахарных остатков	6, 9, 10, 11, 12
Фенольные кислоты	хлорогеновая, криптохлорогеновая, неохлорогеновая, кофейная, кумариновая, протокатехиновая, ванилиновая, феруловая, галловая, п-гидроксибензойная, эллаговая	3, 4, 9
Каротиноиды	лутеин, зеаксантин, ликопин, бета-криптоксантин, альфа-каротин, бета-каротин	3, 5

В таблице 3 методом ORAC определена антиоксидантная активность сырого и печеного картофеля [16].

Таблица 3 – Антиоксидантная активность сырого и печеного картофеля методом ORAC

Тип/сорт картофеля	Состояние	Антиоксидантная активность H-ORAC в ед. тролокс/моль
Красный картофель (кожица и мякоть)	Печеный	1304
Красный картофель (кожица и мякоть)	Сырой	1060
Russet	Печеный	1652
Russet	Сырой	1272
Белый картофель	Печеный	1098
Белый картофель	Сырой	1010

Парадоксально, что в печеном картофеле антиоксидантная активность больше, чем в сыром. Это можно объяснить тем, что из печеного картофеля антиоксидантов экстрагируется больше, чем из сырого картофеля.

В таблице 4 приведено суммарное содержание антиоксидантов, измеренное амперометрическим методом [17].

Предлагаемый метод измерения ССА позволяет с высокой степенью достоверности различать сорта и гибриды картофеля, отбирать сорта картофеля с высоким содержанием антиоксидантов,

т.к. они будут лучше сохраняться, оценивать состояние картофеля (сохранность, болезни и т.д.) его пищевую ценность в период длительного хранения и возможности использования в пищу.

Таблица 4. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в разных сортах картофеля (стандарт – галловая кислота)

№	Название сорта	ССА, мг/100г
1	Сирень	124
2	Юбилей Жукова	70
3	Василек	65
4	Жигулевский ранний	39
5	Коллете	36
6	Колобок	32
7	Удача	29
8	Невский	23
9	Крупный розовый	22
10	Фелокс	20
11	Ред Скарлет	17
12	Импала	17

Выявлена хорошая корреляция между различными типами устойчивости и общим содержанием антиоксидантов. В связи с важностью этих измерений был разработан ГОСТ Р 54036 – 2010 «Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов в клубнях картофеля амперометрическим методом». Это единственный ГОСТ для оценки антиоксидантной активности картофеля. Кроме того, предлагаемый метод может быть рекомендован для проведения диагностики продуктов биотехнологии картофеля с целью сортовой идентификации.

Во многих исследованиях показано, что антиоксидантная активность кожицы картофеля в 2 – 3 раза выше, чем антиоксидантная активность мякоти. Стрессовые ситуации при выращивании картофеля повышают содержание антиоксидантов. Из окрашенных сортов картофеля наибольшее содержание антиоксидантов в фиолетовом (purple). В работе [18] впервые определено содержание антоцианинов, флавоноидов и фенольных кислот в 26 окрашенных сортах картофеля методом ВЭЖХ. Красные клубни содержали гликозиды пелагонидина (200 – 2000 мкг/г), пеонидина (20 – 400 мкг/г). Светлые сорта содержали также гликозиды малвидина (20 – 200 мкг/г).

Мякоть картофеля содержала 30-900 мкг/г хлорогеновых кислот, а кожица 1000-4000 мкг/г. Антоцианины присутствовали в основном в окрашенных сортах картофеля в виде гликозидов пеларгонидина, петунидина, малвидина, а также цианидина и дельфинидина. Из флавоноидов обнаружены: рутин, гликозиды кемпферола, кверцетина и др. В работах [13] методом ВЭЖХ также определяли антоцианины, идентификацию проводили диодноматричным и МС детекторами.

Влияние потребления картофеля на здоровье человека. По влиянию потребления картофеля на здоровье и благополучие человека вышло много прекрасных обзоров [18 – 20].

Можно выделить основные полезные действия картофеля: употребление картофеля защищает от полипов, улучшает работу микробиоты, задерживает старение, помогает глазам, от ревматизма, уменьшает воспалительные процессы, предотвращает образование камней в почках.

Особенно следует выделить подавление окислительного стресса – предшественника многих, в т.ч. и опасных болезней. Окислительный стресс – это избыточное содержание в биологических жидкостях человека свободных радикалов и реакционных кислородных и азотных соединений. Антиоксиданты картофеля подавляют вредное воздействие этих окислителей. Отдельная работа опубликована о благоприятном действии потребления картофеля на сердечно-сосудистую систему. Потребление картофеля подавляет действие enteric вирусов В тормозит развитие онкологических болезней, в частности, колоректального рака [20].

В литературе обсуждены возможности картофеля как пищи для космонавтов, особенно для длительных полетов, в частности на Марс [21].

Заключение. В кратком обзоре приведены общие сведения о картофеле: химическом составе,

антиоксидантной активности и влиянии его потребления на здоровье человека. Картофель по химическому составу и питательной ценности - один из сбалансированных продуктов питания, он содержит углеводы, белки, витамины, антиоксиданты и микроэлементы. В картофеле мало жиров. В последние годы возрос интерес к антиоксидантной активности особенно сортов с пигментированной мякотью клубней. В обзоре приведены данные об антиоксидантной активности картофеля, определенные методом ORAC и амперометрическим методом. Последние данные – это измерения авторов обзора. За счет содержания антиоксидантов картофель благотворно влияет на здоровье человека.

Список литературы

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

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

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

4. Singh J., Kaur L. Eds. Advances in potato chemistry and technology. – Elsevier. – 2009. – 508 p.

5. Zaheer K., Akhtar M.H. Potato production, usage and nutrition-a review // Crit. Rev, Sci. Nutr. – 2016. – V.56. – Pp. 711 – 721.

6. Grudzinska M., Czerko Z., Zarzynska K. et al. Bioactive compounds in potato tubers – effects of farming system, cooking method and flesh color // Plos One. – 2016. – v. 11. – P. 5.

7. Furrer A.N., Chegeni M., Ferruzzi M.G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemical and human health // Crit. Rev, Food Sci. Nutr. – 2018. – V. 58.

8. Watanabe K. Potato genetics, genomics and applications // Breed. Sci. – 2015. – V. 65. – Pp 53 – 68.

9. Nayak B., Berrios J.D.J., Tang J. Impact of food processing on glycemic index (G1) of potato products // Food Res. – Int. 1014. – V. 56. – Pp. 35 – 46.

10. Valcarcel J., Reilly K., Gaffney M., O Brien N.M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavanoid content in sixty varieties of potato grown in Ireland // Potato Res. – 2015. – V. 58. – Pp. 221 – 244.

11. Albishi T., John J.A., Al-Khalifa A.S., Shahidi F. Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products // J. Funct. Foods. – 2013. – V. 5. – Pp. 590 – 600.

12. Galani J.H.Y., Monkad R.M., Shah A.K., et al. Effect of storage temperature on vitamins C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant activity of eleven potato varieties // Horticultural Plant J. – 2017. – V. 3. – Pp. 73 – 89.

13. Pazderu K., Hamouz K., Lachman J., Kasal P. Yield potential and antioxidant activity of potatoes with coloured flesh // Plant soil environ. – 2015. – V. 61. – Pp. 417 – 421.

14. Kalita D., Jajanty S.S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers,pomegranate and bluederries // J. Food Process Technol. – 2014. – V. 5. – P. 538.

15. Le S.H., Oh S.H. et al. Antioxidant contents and antioxidant activity of white and colored potatoes // Prevent. Nutr. Food Sci. – 2016. – V. 21. – Pp. 110 – 116.

16. USDA Database for the ORAC of selected Foods. Release 2 May 201.

17. Яшин Я.И., Черноусова Н.И., Яшин А.Я., Воловик Е.А., Босинзон Ю.М., Старовойтов В.И., Смирнов В.А. Новый метод определения качества картофеля / В сборнике «Диетический картофель – основа здоровья человека». –М.: Издание СГМП Правительства Москвы «Моссельхоз». – 2007. – С. 44 – 47.

18. Lewis C.S., Walker J.R.L., Lancaster J.E., Sutton K.H. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acid in potatoes-colored cultivars of Solanum tuberosum L. // J. Sci Food Agric – 1998. – V. 77. – Pp. 45 – 57.

19. Lowat C., Nassar A.M.K., Kubow S. et al. Metabolic biosynthesis of potato antioxidants and implications for human health // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2016. – V. 56. – Pp. 2278 – 2303.

20. Wang Q., Chen Q., He M. et al. Inhibitory effect of potatoes on the proliferation of human colon and liver cancer cells // Nutrition and Cancer – 2011. – V. 63. – Pp. 1044 – 1052.

21. Drysdale A.E., Ewert M.K., Hauford A.J. Life support approaches for Mars missions // Adv. Space Res. – 2003. – V. 31. – Pp. 51 – 61.

References

1. Starovojtova O.A., Zhevora S.V., Starovojtov V.I., Ovjes E.V., Korshunov A.V., Manohina A.A., Balabanov V.I., Fedorenko V.F., Golubev I.G., Zvjagincev P.S., Zuev V.V., Voronov N.V. Konkurentosposobnye tehnologii semenovodstva, proizvodstva i hranenija kartofelja: nauch. izd. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh». – 2018 – 236 s.

2. Balabanov V.I., Fedorenko V.F. i dr Tehnologii, tehnika i oborudovanie dlja koordinatnogo (tochnogo) zemledelija. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh». – 2016. – 240 s.

3. Balabanov V.I. Polevaja strategija. Vnedrenie innovacij v koordinatnom zemledelii. // Agrotehnika i tehnologii. – 2016. – № 5. – S. 50 – 53.

4. Singh J., Kaur L. Eds. Advances in potato chemistry and technology. – Elsevier. – 2009. – 508 p.

5. Zaheer K., Akhtar M.H. Potato production, usage and nutrition-a review // Crit. Rev, Sci. Nutr. – 2016. – V.56. – Rr. 711 – 721.

6. Grudzinska M., Czerko Z., Zarzynska K. et al. Bioactive compounds in potato tubers – effects of farming system, cooking method and flesh color // Plos One. – 2016. – v. 11. – R. 5.

7. Furrer A.N., Chegeni M., Ferruzzi M.G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemical and human health // Crit. Rev, Food Sci. Nutr. – 2018. – V. 58.

8. Watanabe K. Potato genetics, genomics and applications // Breed. Sci. – 2015. – V. 65. – Pp 53 – 68.

9. Nayak B., Berrios J.D.J., Tang J. Impact of food processing on glycemic index (G1) of potato products // Food Res. – Int. 1014. – V. 56. – Pp. 35 – 46.

10. Valcarcel J., Reilly K., Gaffney M., O Brien N.M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavanoid content in sixty varieties of potato grown in Ireland // Potato Res. – 2015. – V. 58. – Pp. 221 – 244.

11. Albishi T., John J.A., Al-Khalifa A.S., Shahidi F. Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products // J. Funct. Foods. – 2013. – V. 5. – Pp. 590 – 600.

12. Galani J.H.Y., Monkad R.M., Shah A.K., et al. Effect of storage temperature on vitamins C, total phenolics, UPLC phenolic acid profile and antioxidant activity of eleven potato varieties // Horticultural Plant J. – 2017. – V. 3. – Pp. 73 – 89.

13. Pazderu K., Hamouz K., Lachman J., Kasal P. Yield potential and antioxidant activity of potatoes with coloured flesh // Plant soil environ. – 2015. – V. 61. – Pp. 417 – 421.

14. Kalita D., Jajanty S.S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers,pomegranate and bluederries // J. Food Process Technol. – 2014. – V. 5. – P. 538.

15. Le S.H., Oh S.H. et al. Antioxidant contents and antioxidant activity of white and colored potatoes // Prevent. Nutr. Food Sci. – 2016. – V. 21. – Pp. 110 – 116.

16. USDA Database for the ORAC of selected Foods. Release 2 May 201.

17. Jashin Ja.I., Chernousova N.I., Jashin A.Ja., Volovik E.A., Bosinzon Ju.M., Starovojtov V.I., Smirnov V.A. Novyj metod opredelenija kachestva kartofelja / V sbornike «Dieticheskij kartofel' – osnova zdorov'ja cheloveka». –M.: Izdanie SGMP Pravitel'stva Moskvy «Mossel'hoz». – 2007. – S. 44 – 47.

18. Lewis C.S., Walker J.R.L., Lancaster J.E., Sutton K.H. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acid in potatoes-colored cultivars of Solanum tuberosum L. // J. Sci Food Agric – 1998. – V. 77. – Pp. 45 – 57.

19. Lowat C., Nassar A.M.K., Kubow S. et al. Metabolic biosynthesis of potato antioxidants and implications for human health // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2016. – V. 56. – Pp. 2278 – 2303.

20. Wang Q., Chen Q., He M. et al. Inhibitory effect of potatoes on the proliferation of human colon and liver cancer cells // Nutrition and Cancer – 2011. – V. 63. – Pp. 1044 – 1052.

21. Drysdale A.E., Ewert M.K., Hauford A.J. Life support approaches for Mars missions // Adv. Space Res. – 2003. – V. 31. – Pp. 51 – 61.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Жевора Сергей Валентинович – доктор сельскохозяйственных наук, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir1@mail.ru.

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.

Яшин Александр Яковлевич – старший научный сотрудник Общества с ограниченной ответственностью «Институт аналитической токсикологии», Россия, д. Гаврилково, e-mail: yashin@interlab.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.

Яшин Яков Иванович – доктор химических наук, профессор доктор химических наук, профессор, научный консультант Общества с ограниченной ответственностью «Интерлаб», Россия, г. Москва, e-mail: yashinchrom@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Zhevora Sergej – Full Doctor of Agricultural Sciences, Director of Federal State Budgetary Scientific Institution "Lorch Potato Research Institute", Russia, Kraskovo, e-mail: agronir1@mail.ru.

Starovoitov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Scientific Institution "Lorch Potato Research Institute", Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Yashin Aleksandr – senior researcher of Limited liability company "Institute of Analytical Toxicology", Russia, Gavrilkovo, e-mail: yashin@interlab.ru.

Manokhina Alexandra – Full 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.

Yashin Yakov – Full Doctor of Chemical Sciences, Professor, scientific consultant of Limited liability company "Interlab", Russia, Moscow, e-mail: yashinchrom@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 12.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

УДК 338.439

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-87-98

ПОТЕНЦИАЛ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЦЕПОЧКЕ СОЗДАНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СФЕРЫ

[1]Багиев Георгий Леонидович

[2]Пинчук Александр Владимирович

[3]Калюжный Михаил Сергеевич

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»

[2]ООО «Видигайд»

[3]ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина»

Реферат. *Рассмотрено влияние процессов цифровой трансформации на агропродовольственную сферу. Предмет исследования - возможность масштабного внедрения передовой технологии распределенного реестра на массовом уровне. Представлены классификационные признаки вариантов реализации технологии блокчейн (ТБ). Проанализированы ключевые направления интеграции ТБ в маркетинговые и логистические процессы на различных звеньях цепочек создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере. Для понимания текущего статуса ТБ проведен кейс-анализ, выявивший наибольшее распространение блокчейн-решений в сфере логистики. В рамках кейс-анализа дана оценка ключевых исторических прецедентов внедрения ТБ логистическими консорциумами Digital Container Shipping Association и Global Shipping Business Network. Проведенный анализ позволил провести категоризацию видов стоящих перед отраслью проблем – технические аспекты ТБ, аспекты разработки бизнес-моделей и механизмов поощрения участников системы, правовые аспекты, а также рассмотреть основные угрозы, включающие как уязвимость со стороны внешних атак, так и контроль со стороны ведущих технологических компаний - поставщиков блокчейн-решений.*

Установлены ключевые моменты, требующие внимания – вычислительная производительность и алгоритмическая эффективность, подразумевающие такие технические параметры, как задержка, загрузка процессора и использование сети. Выявлена ключевая трудность в отсутствии открытого и эффективного протокола и стандарта ТБ, на основе которого унификация могла бы производиться, исходя из первоначального локального развертывания на местах. Подобный подход смог бы устранить проблему интероперабельности блокчейн-протоколов, открывая возможности подключения в будущем к единой системе проверки аутентичности информации не только перевозчиков, но и производителей продовольственной продукции. Делается вывод, что самым надежным является способ, связанный с формированием большой распределенной сети непроприетарных публичных данных, которая должна функционировать как единая вычислительная машина. Проведенный обзор показывает текущую роль ТБ в маркетинге как комплексной философии предпринимательства, учитывающей весь процесс создания добавленной стоимости.

***Ключевые слова**: блокчейн-технологии, распределенный реестр, сетевой консенсус, информационная прозрачность, агробизнес, прослеживаемость, продовольственная безопасность, аутентичность пищевой продукции, управление, цепочками создания, добавленная стоимость*

POTENTIAL AND PROBLEMS OF USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN THE CHAIN OF ADDED VALUE CREATION BY THE AGRICULTURAL FOOD SECTOR

[1]Bagiev Georgy L.
[2]Pinchuk Alexander V.
[3]Kaliuzhnyi Mikhail S.
[1]FSBEI HE "Saint Petersburg State University of Economics"
[2]LLC "VidiGuide LTD"
[3]FSSI "I.V. Michurin Federal Scientific Center"

***Abstract.** The impact of digital transformation processes on the agri-food sector is considered. The subject of the research is the possibility of large-scale implementation of advanced distributed ledger technology at the mass level. The classification features of options for the implementation of blockchain technology (TB) are presented. The key areas of TB integration into marketing and logistics processes at various links in the value added chain in the agri-food sector are analyzed. Case analysis, which revealed the greatest distribution of blockchain solutions in the field of logistics, was carried out to understand the current status of TB. The analysis made it possible to categorize the types of problems facing the industry - technical aspects of safety, aspects of developing business models and incentive mechanisms for system participants, legal aspects, and also to consider the main threats, including both vulnerability from external attacks and control by leading technological companies - suppliers of blockchain solutions. The key points to consider are computational performance and algorithmic efficiency, implying technical parameters such as latency, processor load, and network utilization are established. A key challenge in the absence of an open and effective TB protocol and standard on the basis of which unification could be based on the initial local deployment in the field was identified. Such an approach could eliminate the problem of interoperability of blockchain protocols, opening up the possibility of connecting in the future to a unified system of verifying the authenticity of information not only for carriers, but also for food manufacturers. It is concluded that the most reliable method is associated with the formation of a large distributed network of non-proprietary public data, which should function as a single computer. This review shows the current role of TB in marketing as an integrated philosophy of entrepreneurship that takes into account the entire process of creating added value.*

***Keywords**: blockchain technologies, distributed ledger, network consensus, information transparency, agribusiness, traceability, food security, food authenticity, governance, value chains, value added*

Введение. Информационная трансформация мировой экономики затронула весь спектр отраслей народного хозяйства, открыв новые возможности и способы решения проблем,

связанных с комплексным сопровождением цепочек создания добавленной стоимости. Наряду с традиционными аспектами проблематики, присущей процессам производства, логистики и маркетинга товаров и услуг, на первый план выступают новые фундаментальные вопросы, относящиеся к понятиям информационной целостности, достоверности и прозрачности бизнес-коммуникаций. Вышеупомянутые процессы в значительной мере определяют будущую трансформацию старейшей из областей человеческой деятельности – сельского хозяйства. В этой связи представляется крайне актуальным рассмотреть влияние цифровизации на агропродовольственную индустрию.

Агропродовольственная сфера – сложная комплексная отрасль, сталкивающаяся с масштабными изменениями процессов, операций и ролей во всем мире. К данной отрасли предъявляется все большее количество требований и ограничений, что усиливает потребность в инновационных решениях. Повышение эффективности принятия решений в цепочке создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере сопряжено с наличием следующих проблем:

– отсутствие необходимой инфраструктуры и нехватка кадровых ресурсов,

– необходимость гармонизации используемых проверенных технологий с инновациями для обеспечения оптимальности затрат,

– снижение временных затрат на внедрение технологий с учетом потребностей и проблем мелких сельхозтоваропроизводителей,

– оптимизация доли финансирования на внедрение информационных технологий в сельском хозяйстве между стейкхолдерами, включая механизмы государственно-частного партнерства,

– недостаточный обмен информацией о ходе успешных проектов, включая возможности для агропродовольственного бизнеса и преимущества новых технологий [14].

Для конструктивного решения указанных проблем с использованием информационных технологий необходимо выделить приоритетные направления исследования. В этой связи уместно привести результаты научных изысканий команды международного проекта Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Actions. Research and Innovation Staff Exchange Evaluations (H2020-MSCA-RISE) из 7 стран (Великобритания, Франция, Испания, Италия, Польша, Чили и Аргентина) применительно к проблемам использования информационных технологий в принятии решений в цепочках создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере, где требуется обеспечение таких ключевых процессов, как:

– обмен информацией между стейкхолдерами цепочек создания добавленной стоимости;

– установление общих стандартов как в отношении производства, хранения, упаковки и доставки продуктов конечному потребителю, так и в отношении информационных технологий, используемых во всех звеньях цепочки создания добавленной стоимости;

– повышение осведомленности - обучение, консультирование и наставничество на всех этапах цепочки создания добавленной стоимости;

– вертикальная интеграция стейкхолдеров агропродовольственной цепочки создания добавленной стоимости, стимулирующая выполнение требований цепочки создания добавленной стоимости, таких как экологические и требования сертификации [11].

Одно из основных требований цепочек создания добавленной стоимости – прослеживаемость. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», прослеживаемость пищевой продукции – это «возможность документарно (на бумажных и (или) электронных носителях) установить изготовителя и последующих собственников находящейся в обращении пищевой продукции, кроме конечного потребителя, а также место происхождения (производства, изготовления) пищевой продукции и (или) продовольственного (пищевого) сырья» [23].

На территории Российской Федерации требования к прослеживаемости пищевой продукции определяются ГОСТом Р ИСО 22005-2009 «Прослеживаемость в цепочке производства кормов и пищевых продуктов. Общие принципы и основные требования к проектированию и внедрению системы», являющимся аналогом международного стандарта ИСО 22005:2007 «Прослеживаемость в цепочке кормов и пищевых продуктов. Общие принципы и основные требования к проектированию и внедрению системы», а также Методическими рекомендации Роспотребнадзора МР 5.1.0096-14 «Методические подходы к организации оценки процессов производства (изготовления) пищевой продукции на основе принципов ХАССП».

К числу наиболее целостных протоколов прослеживаемости пищевой продукции в мировой практике можно отнести Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза от 28.01.2002 N 178/2002 «Об установлении общих принципов и предписаний продовольственного законодательства, об учреждении Европейского органа по безопасности продуктов питания и о закреплении процедур в отношении безопасности продовольственных товаров» [36] и серию стандартов ISO 22000.

Таким образом, можно заключить, что существующая правовая база национальных государств содержит явное требование установления аутентичности производимой продукции, но при этом существует разрыв между применяемыми методами и возможностями интеграции технологии распределенного реестра в указанный процесс. По этой причине целесообразно рассмотреть реальные аспекты применимости блокчейн к отрасли производства пищевой продукции и наметить направления, по которым в ближайшем будущем может происходить гармонизация законодательств, регламентирующих использование данного цифрового маркетингового ресурса.

Ключевые особенности технологии блокчейн. Важнейшую роль в развитии глобальных цепочек создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере играют инструменты цифрового взаимодействия. Согласно прогнозу Всемирного экономического форума, благодаря уменьшению барьеров в глобальной цепочке поставок посредством надежных и прозрачных цифровых коммуникаций, объем мировой торговли может увеличиться на 15%, стимулируя экономику и создание рабочих мест.

Среди технологий, которые могут оказать наиболее сильное воздействие на изменение агропродовольственных цепочек, немалую роль играет технология блокчейн, которая все чаще отмечается исследователями как эффективный метод преобразования агропродовольственной сферы [1, 2, 4, 6].

Наиболее раннее и самое широкое в настоящий момент применение технология блокчейн нашла в финансовом секторе, став фундаментом криптовалюты Биткоин, а затем и других криптовалют. Биткоин, основанный на идее одноранговых горизонтальных сетей P2P (peer-to-peer), функционирует без участия банков и любых других централизованных органов управления, являясь системой с открытым исходным кодом, не имеющей владельца или контролирующего субъекта. Как криптовалюта Биткоин представляет собой криптографически защищенную систему электронных платежей, позволяющую осуществлять транзакции максимально быстро, эффективно, без посреднических платежей. Крайне важно отметить, что опыт развертывания криптовалют типа Биткоин (которых насчитывается уже более 800) привел к осознанию возможностей использования технологий распределённого реестра в других отраслях, не связанных с финансовой сферой. Для понимания перспектив внедрения технологии блокчейн в нефинансовой сфере требуется рассмотреть фундаментальные основы и принципы, определяющие признаки блокчейн-технологии применительно к способам защиты и передачи данных.

Классификационные признаки вариантов реализации технологии блокчейн применительно к другим отраслям экономики могут быть следующими (ключевым признаком может выступать место хранения файлов и метод установления достоверности информации):

– записи хеш-суммы («цифровые отпечатки» файлов), хранящиеся локально атомарно, но отдельно от исходных файлов и прочего содержимого. Такой способ позволяет производить быструю проверку, были ли фалы изменены или подвергались каким-либо манипуляциям;

– записи хеш-суммы, хранящиеся локально древовидно в локальном дереве хешей («дерево Меркла»). Каждый хеш объединяется с предыдущим в единый новый хеш таким образом, что корневой узел содержит хеш всего набора данных. Такой способ повышает надежность системы, затрудняя возможность внесения изменений;

– записи хеш-суммы, хранящиеся внешне – во внешнем дереве хешей. Если хеш-дерево будет контролироваться сторонней организацией, уровень надежности и доверия к системе возрастет. Внешнее хранение дерева хешей делает внесение изменений без ведома других сторон гораздо более сложным для организации-владельца исходных файлов;

– записи во внешнем дереве хешей в структуре распределенного реестра. Хеш-дерево может быть защищено от риска единой точки отказа путем создания общей базы данных – распределенного реестра, совместно используемого участниками [15]. Таким образом, ни один сотрудник или организация не смогут манипулировать проверками в базах данных или процессах, что позволяет осуществлять конфиденциальные транзакции в условиях, когда неразумно полагаться на централизованное управление базой данных;

– записи во внешнем дереве хешей в системе децентрализованного консенсуса. В публичном распределенном реестре, или блокчейне, любой может участвовать в верификации изменения данных: никто не контролирует систему, так как возможность внесения изменения предоставлена всем, кто работает в системе, что обеспечивает бóльшую надежность и безопасность системы. Госучреждения не могут контролировать процесс, что является и одной из выгод, и одновременно одной из проблем, так как несет риск потери файлов активов или идентификаторов. Риск может быть снижен участием «хранителей», держащих закрытые ключи и предоставляющих доступ к цифровым активам, но хранители также могут быть взломаны;

– записи в гибридных распределенных реестрах [19]. Ограниченные возможности транзакций и хранения публичных блокчейнов привели к усилиям по созданию гибридных структур, в которых большинство транзакций выполняется вне публичных блокчейнов [8].

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что система распределенного реестра может быть очень безопасной, однако экосистема и инфраструктура вокруг него может быть уязвимой. По этой причине публичные блокчейн-среды для контроля и отслеживания товаров, таких как продукты питания, на данный момент неспособны обеспечить требуемый уровень технологической надежности. Поэтому можно заключить, что наиболее вероятным с точки зрения потенциала успешного применения является использование приватных блокчейн-протоколов, таких как Ethereum, обеспечивающих адекватное масштабирование.

Несмотря на то, что общее количество публикаций на тему блокчейн-технологии растет, и наблюдается тенденция перехода от обсуждения теоретических вопросов к практическим проблемам, количество исследований конкретных аспектов реализации технологии блокчейн в управлении агропродовольственными цепочками поставок до сих пор ограниченно [22]. Вопросам эффективности применения технологии блокчейн в управлении агропродовольственными цепочками создания добавленной стоимости с точки зрения показателей вычислительной производительности и алгоритмической эффективности, таких как задержка, загрузка процессора и использование сети, посвящено относительно малое количество публикаций [3, 12].

В современной научной литературе наблюдаются пробелы в исследованиях технологии блокчейн:

– приоритетное внимание уделяется исследованиям криптовалютных суррогатов типа Биткоин, а не других сфер применения блокчейна (так, например, более 80 % научных работ по технологии блокчейн посвящены криптовалюте bitcoin, в то время как другим приложениям блокчейна посвящено менее 20 % литературы);

– нехватка исследований по улучшению пользовательского опыта работы с технологией блокчейн;

– практически отсутствуют исследования проблем применения технологии блокчейн, таких как масштабируемость, задержка, производительность и пропускная способность [21].

Ряд авторов [5, 7, 10] заключает, что сочетание технологии блокчейн с технологиями «интернета вещей» позволило бы участникам цепочек создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере автоматизировать трудоемкие процессы документирования данных и значительно снизить затраты, а также повысить степень доверия между участниками цепочек создания добавленной стоимости. В свою очередь, технология блокчейн потенциально может расширить функциональность систем «интернета вещей» [18].

Особенности технологии блокчейн, такие как неизменяемая запись всех транзакций и возможность доступа к защищенным данным в режиме реального времени, позволяют применять эту технологию для больших сетей участников всех этапов цепочки поставок, повышая степень доверия, эффективность обмена информацией и прослеживаемость цепочки создания добавленной стоимости.

Применение технологии блокчейн на различных этапах агропродовольственных цепочек поставок. Рассмотрим ключевые направления интеграции блокчейн-технологии в логистических и маркетинговых процессах. Присущая блокчейнам прослеживаемость (traceability) может быть достигнута на всех этапах цепочки поставок продуктов питания, что позволяет наметить приведенные ниже приоритетные зоны цифровой трансформации.

1. Исследования в области пищевых наук. Исследования в области пищевых наук, в частности, такие, как анализ биохимического состава растительного сырья, требуют применения

междисциплинарного подхода с объединением усилий исследователей и соблюдением прозрачности и прослеживаемости информации. Использование технологии блокчейн потенциально позволяет создать децентрализованное безопасное хранилище результатов исследований с персонализированной информацией и обеспечением прав доступа. Для выработки протоколов последующего сбора данных, автоматической обработки и анализа результатов исследований могут использоваться особые цифровых программы – смарт-контракты, гарантирующие соблюдение протокола всеми участниками децентрализованного консенсуса и автоматизацию исполняемых процедур. Блокчейн может стать эффективным инструментом поддержки цепочки научных исследований, что особенно важно в случае для управления исследованиями функциональных продуктов питания [17].

2. Производство. На этапе производства сельскохозяйственная продукция может быть помечена RFID-метками с введением соответствующей информации в систему. Информация может содержать сведения об окружающей среде (состав почвы, режим полива и освещения, состояние атмосферы), селекционно-технологические сведения (сортовой или породный состав, происхождение и качество посадочного материала, технология возделывания, схема посадки, сроки посева/посадки и сбора урожая, применение средств защиты растений, минеральное питание растений, задействованный персонал и сельскохозяйственная техника). Аналогичные сведения вносятся и по продукции животноводства. Ключевая особенность этого и последующих этапов движения по цепочке создания добавленной стоимости заключается в применении смарт-контрактов, которые хранятся в цепочке блоков на внешней глобальной вычислительной машине.

3. Хранение. На этапе хранения информация о продуктах может собираться с помощью устройств «интернета вещей». Беспроводные датчики и оборудование для неизвазивного мониторинга позволяют собирать, проверять и обновлять информацию о продукте, такую как количество, категория, сроки и условия хранения (температура, влажность, параметры регулируемой атмосферы) и ответственный персонал, в режиме реального времени как в системе блокчейн, так и на упаковке партии продукта.

4. Переработка. Перерабатывающие предприятия могут считывать данные продукта, сканируя его RFID-метку, и вводить новые данные, содержащие параметры технологических операций (дезинфекция, химическая и термическая обработка, используемые реагенты и пищевые добавки, способы упаковки, используемое оборудование, ответственный персонал). Как и на предыдущих этапах, на этом этапе информация может дублироваться в цепочке блоков и на упаковке продукта.

5. Транспортировка. Прослеживаемость логистических переменных цепочки поставок может предусматривать внесение данных об условиях транспортировки (вид транспорта, либо задействованные виды, если предусмотрены мультимодальные перевозки, тип и габариты транспортного модуля, температура, влажность, атмосфера, сроки доставки, допустимые диапазоны и отклонения). Так, например, в различных температурных зонах рефрижераторных контейнеров могут быть установлены беспроводные датчики, передающие информацию в режиме реального времени в сеть. Помимо перечисленных опций, – оснащенные системой мониторинга «умные контейнеры» (smart containers) могут контролировать другие параметры доставки – автоматически определять тип груза и наличие всех объектов, находится ли контейнер в нужном месте, открыты ли двери уполномоченным лицом и т.д., выполняя функцию СКУД (системы контроля и управления доступом) [20]. Данные об условиях транспортировки через регулярные интервалы времени можно добавлять в радиочастотные метки товаров и в систему блокчейн и настроить систему оповещений в случае, если какие-то параметры отклонятся от заданных. Также при помощи технологии GPS распределительный центр компании-перевозчика может осуществить позиционирование транспортных средств и оптимизировать маршрут для сокращения логистических издержек.

6. Доведение до конечного потребителя. На этапе доведения сельскохозяйственной продукции до конечного потребителя розничные торговцы, такие, как ритейловые сети, закупая товар, получают благодаря использованию блокчейна полную информацию по всей цепочке поставок, от времени и географического происхождения продукта до срока годности. В случае ситуаций, вызывающих сомнения в безопасности продукции или достоверности данных, хранящихся в распределенном реестре, местонахождение продукции, причины проблемы и ответственный

персонал могут быть легко найдены, а потери и возможный ущерб значительно снижены благодаря высокому уровню прослеживаемости, присущему технологии блокчейн. Покупатели могут считывать RFID-метки для получения информации об интересующем продукте, повышая свою осведомлённость в отношении происхождения, безопасности, биохимического состава, полезных свойств и параметров хранения продукта.

7. Государственное регулирование (Техническое регулирование безопасности пищевой продукции). Органы, осуществляющие техническое регулирование и сертификацию продукции, в ходе выездных проверок могут проводить экспертизу соответствия продукции государственным стандартам безопасности пищевой продукции и техрегламентам, достоверности введенных данных, выявляя случаи фальсификации информации о продукции и внося сведения о результатах инспекции в общую цепочку блоков. Аналогично данные результатов проверки могут вводиться при осуществлении таможенного контроля.

Кейсы. Для определения эффективности внедрения технологии блокчейн в отраслях и сферах народного хозяйства требуется выработать набор ключевых метрик и показателей, которые позволят установить качественные и количественные параметры эффектов и ущербов в производственной и маркетинговой деятельности. В этой связи предлагается рассмотреть имеющиеся кейсы практической реализации блокчейн-совместимых систем и выделить агрегированные эффекты от внедрения (воплощенные в показателях времени и количественных значения).

1. Одним из важнейших элементов глобальных цепочек поставок являются морские транспортные перевозки, на долю которых приходится более 90% мировых грузоперевозок. Динамичное развитие отрасли и повышение роли высокотехнологичных решений вывели на первый план задачу создания общих стандартов информационных технологий, открытых, доступных и бесплатных для всех стейкхолдеров цепочки поставок. С этой целью 5 из 6 крупнейших компаний сферы морских грузоперевозок, контролирующие более 60 % рынка и располагающие суммарным флотом более 2000 транспортных судов – датская Mærsk, швейцарско-итальянская Mediterranean Shipping Company, французская CMA-CGM, немецкая Hapag-Lloyd и японско-сингапурская Ocean Network Express – объявили о создании некоммерческой ассоциации, в задачу которой входила бы координация совместных действий по цифровизации, стандартизации, дебюрократизации и повышению прозрачности и функциональной совместимости в отрасли морских перевозок. Итогом переговоров стало учреждение в апреле 2019 года Ассоциации цифровых контейнерных перевозок (Digital Container Shipping Association) со штаб-квартирой в Амстердаме, в которую позднее помимо пяти компаний-инициаторов ассоциации вошли также тайваньские операторы морских грузоперевозок Evergreen Line и Yang Ming, южнокорейская Hyundai Merchant Marine и израильская ZIM.

Параллельно с этим был запущен совместный проект крупнейшего морского перевозчика, A.P. Møller-Mærsk, и компании IBM – блокчейн-платформа TradeLens. Причиной, побудившей перевозчика приступить к реализации такого проекта, стала необходимость минимизации ресурсов, затрачиваемых на осуществление документооборота процесса поставок.

Отправка физических копий, поддержание функционирования архивов в разных точках планеты занимают значительное время и при том не гарантируют надежности и достоверности передаваемых данных и отсутствия ошибок. Помимо бумажной юридической документации большая часть информации передавалась с помощью устаревшей и дорогой системы электронного документооборота. В результате стоимость перемещения и отслеживания сопроводительных документов часто равна стоимости физического перемещения контейнера по всему миру.

Mærsk обнаружили, что для одного контейнера могут потребоваться штампы до 30 человек, в том числе от таможенных и налоговых органов и органов системы здравоохранения. В то время как сами контейнеры могут быть загружены на судно за считанные минуты, в связи с необходимостью ведения документооборота контейнер может задерживаться в порту в течение нескольких дней, за это время товары внутри могут терять свои потребительские свойства. Например, доставка такого экспортного товара, как авокадо, отправляемого из порта Момбасы в Кении в порт Роттердам в Нидерландах, может занять до 34 дней, из которых две недели приходятся на ожидание администрацией порта информации о доставке и подтверждающих документов.

Кроме того, документы подвержены ошибкам, пропажам и мошенничеству: коносаменты часто подделываются или копируются, что позволяет преступникам распространять

контрафактную продукцию и совершать другие мошеннические действия, что приводит к миллиардным убыткам ежегодно [16].

Использование технологии блокчейн позволит таможенным органам сразу же загрузить копии подписанных документов с цифровой подписью, чтобы все остальные участники цепочки поставок, включая грузоперевозчика и правительственные органы, могли убедиться, что документ оформлен. В случае возникновения споров каждая сторона может проследить запись и удостовериться, что она осталась неизменной. Используемая в блокчейне криптография затруднит подделку виртуальных подписей [16].

С января 2018 года Mærsk и IBM вели отбор участников, представляющих всех звенья цепочки поставок, для пилотного тестирования.

В рамках первого тестирования системы было налажено отслеживание всех документов, связанных с контейнером с цветами, который перемещался из порта Момбаса в Кении в Роттердам в Нидерландах [16]. Тестовое испытание технологии показало, что применение технологии блокчейн может снизить временные задержки и свести к минимуму ошибки в документации, благодаря чему транзитное время перевозки может сократиться на 40%, что особенно критично для скоропортящихся товаров [13].

По состоянию на август 2018 года в блокчейн-проекте TradeLens было задействовано уже 94 участника, в том числе более 20 операторов портов и терминалов по всему миру, а также провайдеров интермодальных логистических услуг и таможенные органы Австралии, Нидерландов, Перу, Саудовской Аравии и Сингапура. Однако из числа компаний, занимающихся морскими грузоперевозками, помимо самих Mærsk в проекте приняли участие только сингапурские Pacific International Lines, занимающие в мире 8 место по числу грузовых судов и долю в 1,5 % мирового рынка.

Другие крупные компании-перевозчики – Hapag-Lloyd и CMA CGM – отвергли идею участия в TradeLens, заявив о необходимости отраслевого решения в рамках общего стандарта вместо платформ, контролируемых отдельными компаниями. При этом они подчеркнули важность объединения усилий компаний всего сектора для разработки совместного решения, гарантирующего, что технология блокчейн используется должным образом, и эффективность цепочек поставок возрастает. Было указано минимальное количество участников проекта для достижения прогресса в данной области – 5-7 грузоперевозчиков. Потребовался год, чтобы эти компании изменили первоначальное мнение и приняли участие в проекте.

К этому времени все грузоперевозчики-сооснователи Ассоциации цифровых контейнерных перевозок присоединились к блокчейн-платформе, получив представительство в консультативном совете TradeLens. Помимо этого к блокчейн-проекту присоединились таможенные органы еще нескольких стран – Азербайджана, Бахрейна, Ганы, Канады, ОАЭ, Таиланда, Все участники платформы играют важную роль в качестве валидаторов системы и на равных правах задействованы в формировании децентрализованного консенсуса для проверки транзакций и размещения новых данных.

2. В 2018 году девять компаний-морских грузоперевозчиков и операторов терминалов - морские перевозчики CMA CGM, COSCO/ OOCL, Evergreen и Yang Ming, операторы терминалов DP World, Hutchison Ports, PSA International (крупнейшие в мире портовые операторы по тоннажу) и эксклюзивный оператор терминалов в порту Шанхая Shanghai International Port Group договорились о создании консорциума Global Shipping Business Network для разработки платформы блокчейн с целью повышения эффективности и прозрачности цепочки поставок. Позднее из проекта вышли Evergreen и Yang Ming, не участвовавшие в подписании финального соглашения, однако присоединились Hapag-Lloyd. В качества разработчика выступает гонконгский поставщик IT-решений CargoSmart в тесном сотрудничестве с Oracle, запустившей облачный сервис Oracle Blockchain.

Цель консорциума – цифровое преобразование цепочки поставок и связывание операторов грузоперевозок, операторов терминалов, таможенных органов, грузоотправителей и поставщиков логистических услуг. Пилотный проект представляет собой оцифровку и систематизацию оформления документации на опасные грузы в целях оптимизации процесса совместного утверждения документов и обмена данными на всех этапах цепочки поставок.

Таким образом, консорциум выступает прямым конкурентом TradeLens от IBM и Maersk. При этом CMA CGM, Hapag-Lloyd и PSA International одновременно являются участниками блокчейн-платформы TradeLens.

Помимо запуска самой блокчейн-платформы прорабатываются варианты взаимодействия с другими блокчейн-системами, в частности, с блокчейн-системой гонконгского межбанковского консорциума eTradeConnect. Тестирование подтвердило гипотезу, что связывание данных цепочки поставок с данными транзакций может обеспечить повышенную прозрачность, прослеживаемость и эффективность для банков и их клиентов-участников консорциума.

Как видно из приведенных кейсов, наиболее масштабная апробация технологии блокчейн в нефинансовых сферах экономики была проведена в логистических цепочках, обнажив проблемы конкурирования стандартов, интегрируемости в существующую инфраструктуру, а также базовый характер применения (электронный документооборот). Авторам данной статьи представляется, что ключевая трудность заключается в отсутствии открытого и эффективного протокола и стандарта блокчейн, на основе которого унификация могла бы производиться, исходя из первоначального локального развертывания на местах. Подобный подход смог бы устранить проблему интероперабельности блокчейн-протоколов, открывая возможности подключения в будущем к единой системе проверки аутентичности информации не только перевозчиков, но и производителей продовольственной продукции.

Проблемы и ограничения использования технологии блокчейн в управлении цепочками создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере. Завершая анализ потенциала интеграции блокчейн в маркетинговый и логистический ресурс предприятия, мы бы хотели отметить, что, несмотря на огромные преимущества применения блокчейн в управлении цепочками создания добавленной стоимости в агропродовольственной сфере, наблюдается ряд категорированных проблем, решение которых определит будущее цифровой трансформации отрасли [9]:

– первая категория проблем связана техническими аспектами блокчейна, такими как управление, масштабируемость, конфиденциальность данных и действенность смарт-контрактов в качестве обязательных соглашений;

– вторая категория проблем связана с разработкой жизнеспособных бизнес-моделей и механизмов поощрения участников системы;

– третью категорию проблем представляют правовые аспекты развития блокчейн в части соответствия законодательству в части укрепления конфиденциальности данных и защиты данных пользователей, например, Общему регламенту по защите данных ЕС.

Правовые аспекты использования блокчейна привлекают наибольшее внимание как среди руководства компаний-участников цепочек поставок, так и среди государственных органов и общественных организаций. За последние годы был принят ряд законов о защите данных, ужесточающих ограничения по сбору информации, например, принятый Европейским союзом и вступивший в силу 25 мая 2018 года Общий регламент по защите данных (General Data Protection Regulation, GDPR), а также Калифорнийский закон о защите конфиденциальности потребителей (California Consumer Privacy Act, CCPA), принятый 28 июня 2018 года. В связи с этим правозащитные организации, такие как Фонд электронных рубежей (Electronic Frontier Foundation), поднимают вопрос о правомерности применения RFID-меток, которые могут использоваться для точного определения физического местоположения предмета, не только для повышения прослеживаемости товаров на этапах цепочки поставок, но и для отслеживания людей и их деятельности через приобретенные товары, что, по мнению правозащитников, приводит к нарушению конфиденциальности и ущемлению свободы потребителей.

Обоснованные опасения вызывает факт, что у многих блокчейн-решений, созданных технологическими гигантами, такими как IBM, Oracle и Microsoft, отсутствует один из основных элементов успеха биткоина, а именно – полностью децентрализованная структура. Любой человек в мире может присоединиться к биткоин-сообществу и принять участие в формировании цепочки блоков. Для корпоративных решений, таких, как платформы от IBM, это можно сказать только в отношении ограниченного числа участников, что может сделать эти системы более уязвимыми для деятельности хакеров, например, в случае, если атаке подвергнется один или несколько участников такой сети. Несмотря на эти угрозы, компании-участники таких корпоративных платформ выражают меньшее беспокойство по этому поводу, предпочитая закрытые системы и отвергая принцип открытости биткоина [16].

В то же время, многие компании обеспокоены тем, что технологические гиганты, являющиеся разработчиками блокчейн-решений, имеют слишком большой контроль над системами, которые

они разрабатывают, что может сделать участников блокчейн-сети зависимыми от программного обеспечения компании-разработчика. Компании пыталась отразить этот аргумент, приглашая к участию в разработке других участников и делая проекты открытыми, как, например, IBM в 2015 году. Отвечающий в настоящее время за компьютерный код фонд Hyperledger Foundation включает много других компаний, работающих над проектом вместе с IBM. Однако, по признанию директора самого фонда, программиста и одной из ключевых фигур движения за свободное программное обеспечение Брайана Белендорфа, IBM по-прежнему является крупнейшим спонсором проекта, в результате чего очень нелегко убедить других в том, что это не просто проект IBM [16].

Наконец, одно из основных условий повышения эффективности блокчейн-решений в агропродовольственной сфере – это наличие вовлеченности большого числа стейкхолдеров, представляющих все звенья цепочки создания добавленной стоимости, для сквозного прослеживания продукции. Это означает, что ее использование лишь на одном этапе цепочки, например, на складе, или исключительно одной компанией, является фрагментарным и недостаточным.

К тому же, внедрение технологии бóльшим числом заинтересованных сторон может стать длительным процессом, занимая до 5 или даже 10 лет, прежде чем все участники цепочки поставок, включая производителей, переработчиков, ритейлеров, таможенные и регулирующие органы и исследователей, станут пользователями единой информационной распределенной платформы. Определяющим в данном вопросе может выступать аспект повышения эффективности возврата капитала от комплексного внедрения блокчейн-технологии.

Список литературы

1. Astill J., Dara R.A., Campbell M., Farber J.M., Fraser E.D.G., Sharif S., Yada R.Y. Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – V. 91. – Pp. 240 – 247.

2. Bechtsis D., Tsolakis N., Bizakis A., Vlachos D. A Blockchain Framework for Containerized Food Supply Chains. // Computer Aided Chemical Engineering. – 2019. – V. 46. – 1369 –1374.

3. Caro M.P., Ali M.S., Vecchio M., Giaffredam R. Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. / IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany), Tuscany, 8 – 9 May 2018. – Pp. 1 – 4.

4. Casado-Vara R., Prieto J., De la Prieta F., Corchado J.M. How blockchain improves the supply chain: case study alimentary supply chain. // Procedia Computer Science. – 2018. – V. 134. – Pp. 393 – 398.

5. Christidis K., Devetsikiotis M. Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. // IEEE Access. – 2016. – V. 4. – Pp. 2292 – 2303.

6. Creydt M., Fischer M. Blockchain and more - Algorithm driven Food Traceability // Food Control. –2019. – V. 105. – Pp. 45 – 51.

7. Davcev D., Kocarev L., Carbone A., Stankovski V., Mitreski K. Blockchain-based distributed cloud/fog platform for IoT supply chain management. / Conference Proceedings: Eighth International Conference On Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology – CEET 2018. – Kuala Lumpur, Malaysia, 3 – 4 February 2018. Pp. 51 – 58.

8. Galvez J.F., Mejuto J.C., Simal-Gandara J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis // Trends in Analytical Chemistry. – 2018. – V. 107. – Pp. 222 – 232.

9. Hamida E.B., Brousmiche K.L., Levard H., Thea E. Blockchain for enterprise: overview, opportunities and challenges. / The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications. – Nice, France. – 23 – 27 July 2017. – Pp. 83 – 88.

10. Hammi M.T., Hammi B., Bellot P., Serhrouchni A. Bubbles of Trust: A decentralized blockchain-based authentication system for IoT. // Computers & Security. – 2018. – V. 78. – Pp. 126 – 142.

11. Hernandez J.E., Kacprzyk J., Panetto H., Fernandez A., Liu S., Ortiz A., De-Angelis M. Challenges and solutions for enhancing agriculture value chain decision-making. A short review. / In: Camarinha-Matos L., Afsarmanesh H., Fornasiero R. (Eds.) Collaboration in a data-rich world. PRO-VE 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology. – 2017. – V. 506. – Pp. 761 – 774.

12. Kamath R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. / Journal of British Blockchain Association. – 2018. – № 1(1). – Pp. 1 – 12.

13. Lopez E. 94 supply chain players sign on to Maersk, IBM blockchain initiative // Supply Chain Dive, Aug. 9, 2018. URL: https://www.supplychaindive.com/news/blockchain-supply-chain-Maersk-IBM-TradeLens/529759/ (дата обращения: 11.01.2021).

14. Mahant M., Shukla A., Dixit S., Patel D. Uses of ICT in Agriculture. / International Journal of Advanced Computer Research. – 2012. – № 2 (1). – Pp. 46 – 49.

15. Pinna A., Ruttenberg W. Distributed ledger technologies in securities post-trading. Revolution or evolution? // ECB Occasional Paper, Vol. 172, April 2016. URL: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf (дата обращения: 11.01.2021).

16. Popper N., Lohr S. Blockchain: a better way to track pork chops, bonds, bad peanut butter? // The New York Times. March 4, 2017. URL: https://www.nytimes.com/2017/03/04/business/dealbook/blockchain-ibm-bitcoin.html (дата обращения: 11.01.2021).

17. Qian J., Ruiz-Garcia L., Fan B., Robla Villalba J.I., McCarthy U., Zhang B., Yu Q., Wu W. Food traceability system from governmental, corporate, and consumer perspectives in the European Union and China: A comparative review. // Trends in Food Science and Technology. – 2020. – V. 99. – Pp. 402 – 412.

18. Reyna A., Martín C., Chen J., Soler E., Díaz M. On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. // Future Generation Computer Systems. – 2018. – V. 88. – Pp. 173 – 190.

19. Shermin V. Disrupting governance with blockchains and smart contracts. // Strategic Change. – 2017. – № 26 (5). – Pp. 499 – 509.

20. Vannieuwenborg F., Lannoo B., Verbrugge S., Colle D. Smart containers: quantifying the potential impact. / ITS Biennial (International Telecommunications Society) World conference. Taipei, Taiwan. – 2016. – Pp. 1 – 20.

21. Yli-Huumo J., Ko D., Choi S., Park S., Smolander K. Where is current research on blockchain technology? – A systematic review. // PLoS ONE – 2016. – V. 11 (10) – e0163477.

22. Zhao G., Liu S., Lopez C., Lu H., Elgueta S., Chen H., Boshkoska B.M. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions // Computers in Industry. – 2019. – V. 109. Pp. 83 – 99.

23. Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 880 (ред. от 24.12.2019) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (вместе с «ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции»). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_124768/ (дата обращения: 11.01.2021).

References

1. Astill J., Dara R.A., Campbell M., Farber J.M., Fraser E.D.G., Sharif S., Yada R.Y. Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – V. 91. – Pp. 240 – 247.

2. Bechtsis D., Tsolakis N., Bizakis A., Vlachos D. A Blockchain Framework for Containerized Food Supply Chains. // Computer Aided Chemical Engineering. – 2019. – V. 46. – 1369 –1374.

3. Caro M.P., Ali M.S., Vecchio M., Giaffredam R. Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. / IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany), Tuscany, 8 – 9 May 2018. – Pp. 1 – 4.

4. Casado-Vara R., Prieto J., De la Prieta F., Corchado J.M. How blockchain improves the supply chain: case study alimentary supply chain. // Procedia Computer Science. – 2018. – V. 134. – Pp. 393 – 398.

5. Christidis K., Devetsikiotis M. Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. // IEEE Access. – 2016. – V. 4. – Pp. 2292 – 2303.

6. Creydt M., Fischer M. Blockchain and more - Algorithm driven Food Traceability // Food Control. –2019. – V. 105. – Pp. 45 – 51.

7. Davcev D., Kocarev L., Carbone A., Stankovski V., Mitreski K. Blockchain-based distributed cloud/fog platform for IoT supply chain management. / Conference Proceedings: Eighth International Conference On Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology – CEET 2018. – Kuala Lumpur, Malaysia, 3 – 4 February 2018. Rp. 51 – 58.

8. Galvez J.F., Mejuto J.C., Simal-Gandara J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis // Trends in Analytical Chemistry. – 2018. – V. 107. – Pp. 222 – 232.

9. Hamida E.B., Brousmiche K.L., Levard H., Thea E. Blockchain for enterprise: overview, opportunities and challenges. / The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications. – Nice, France. – 23 – 27 July 2017. – Pp. 83 – 88.

10. Hammi M.T., Hammi B., Bellot P., Serhrouchni A. Bubbles of Trust: A decentralized blockchain-based authentication system for IoT. // Computers & Security. – 2018. – V. 78. – Pp. 126 – 142.

11. Hernandez J.E., Kacprzyk J., Panetto H., Fernandez A., Liu S., Ortiz A., De-Angelis M. Challenges and solutions for enhancing agriculture value chain decision-making. A short review. / In: Camarinha-Matos L., Afsarmanesh H., Fornasiero R. (Eds.) Collaboration in a data-rich world. PRO-VE 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology. – 2017. – V. 506. – Pp. 761 – 774.

12. Kamath R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. / Journal of British Blockchain Association. – 2018. – № 1(1). – Pp. 1 – 12.

13. Lopez E. 94 supply chain players sign on to Maersk, IBM blockchain initiative // Supply Chain Dive, Aug. 9, 2018. URL: https://www.supplychaindive.com/news/blockchain-supply-chain-Maersk-IBM-TradeLens/529759/ (data obrashhenija: 11.01.2021).

14. Mahant M., Shukla A., Dixit S., Patel D. Uses of ICT in Agriculture. / International Journal of Advanced Computer Research. – 2012. – № 2 (1). – Rr. 46 – 49.

15. Pinna A., Ruttenberg W. Distributed ledger technologies in securities post-trading. Revolution or evolution? // ECB Occasional Paper, Vol. 172, April 2016. URL: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf (data obrashhenija: 11.01.2021).

16. Popper N., Lohr S. Blockchain: a better way to track pork chops, bonds, bad peanut butter? // The New York Times. March 4, 2017. URL: https://www.nytimes.com/2017/03/04/business/dealbook/blockchain-ibm-bitcoin.html (data obrashhenija: 11.01.2021).

17. Qian J., Ruiz-Garcia L., Fan B., Robla Villalba J.I., McCarthy U., Zhang B., Yu Q., Wu W. Food traceability system from governmental, corporate, and consumer perspectives in the European Union and China: A comparative review. // Trends in Food Science and Technology. – 2020. – V. 99. – Pp. 402 – 412.

18. Reyna A., Martín C., Chen J., Soler E., Díaz M. On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. // Future Generation Computer Systems. – 2018. – V. 88. – Pp. 173 – 190.

19. Shermin V. Disrupting governance with blockchains and smart contracts. // Strategic Change. – 2017. – № 26 (5). – Pp. 499 – 509.

20. Vannieuwenborg F., Lannoo B., Verbrugge S., Colle D. Smart containers: quantifying the potential impact. / ITS Biennial (International Telecommunications Society) World conference. Taipei, Taiwan. – 2016. – Pp. 1 – 20.

21. Yli-Huumo J., Ko D., Choi S., Park S., Smolander K. Where is current research on blockchain technology? – A systematic review. // PLoS ONE – 2016. – V. 11 (10) – e0163477.

22. Zhao G., Liu S., Lopez C., Lu H., Elgueta S., Chen H., Boshkoska B.M. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions // Computers in Industry. – 2019. – V. 109. Pp. 83 – 99.

23. Reshenie Komissii Tamozhennogo sojuza ot 09.12.2011 N 880 (red. ot 24.12.2019) «O prinjatii tehnicheskogo reglamenta Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii» (vmeste s «TR TS 021/2011. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza. O bezopasnosti pishhevoj produkcii»). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_124768/ (data obrashhenija: 11.01.2021).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Багиев Георгий Леонидович – доктор экономических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», Россия, г. Санкт-Петербург.

Пинчук Александр Владимирович – кандидат экономических наук, генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «ВидиГайд», Россия, г. Санкт-Петербург.

Калюжный Михаил Сергеевич – специалист отдела научно-технической информации, заведующий аспирантурой Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина», Россия, г. Мичуринск, e-mail: kaliuzhnyi@fnc-mich.ru.

Author credentials

Affiliations

Bagiev Georgy L. – Full Doctor of Economic Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Economics", Russia, Saint Petersburg.

Pinchuk Alexander V. – Candidate of Economic Sciences, General Director of Limited liability company "VidiGuide LTD", Russia, Saint Petersburg.

Kaliuzhnyi Mikhail S. – Specialist of S&T Information Department, Head of the Postgraduate Department of Federal State Scientific Institution "I.V. Michurin Federal Scientific Center", Russia, Michurinsk, e-mail: kaliuzhnyi@fnc-mich.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.01.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.02.2021

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 26.02.2021. Заказ № 2.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 10,29 усл. печ. л. Тираж 100 экз.