ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2022 № 2 (56)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

Александру Владимировичу Балашову *75* лет*!*

Балашов А. В. — доктор технических наук, доцент, работает в должности заведующего лабораторией использования машинно-тракторных агрегатов с ***2014*** по настоящее время.

Уважаемый Александр Владимирович!

Сотрудники ФГБНУ ВНИИТиН сердечно поздравляют Вас с ***75***-летием со дня рождения.

Вы пришли в институт в ***1972*** году и связали с ним свою дальнейшую судьбу. В стенах института Вы прошли путь от рядового инженера до доктора наук и заведующего лабораторией.

Вас знают в регионе и стране как ведущего специалиста по механизации процессов и эксплуатации техники в сельском хозяйстве, посвятившего свою творческую деятельность технологиям возделывания пропашных культур. Настоящий производственник душой и телом, Вы – пример для коллег и молодого поколения.

Александр Владимирович – Вы избранный богом человек, который может успешно решать сложные производственные и организационные проблемы. Ваша отзывчивость и умение общаться с людьми высоко ценятся в нашем коллективе.

Ум, трудолюбие и упорство в достижении поставленной цели снискали глубокое уважение и дружеские чувства к Вам со стороны сотрудников института.

В день юбилея желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, профессиональных успехов, жизненного оптимизма и семейного счастья.

«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

№ 2 (56), 2022 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

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

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

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич – главный редактор, директор ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ

ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – зам. главного редактора, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН

МИЩЕНКО Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ

НАГОРНОВ Станислав Александрович – зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

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

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

Редакция

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

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

Главный редактор: Зазуля А.Н.; заместители главного редактора: Нагорнов С.А., Машков А.Н.

№2 (56). Дата выхода в свет 29.04.2022. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2022

«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
№ 2 (56), 2022 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

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

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

ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

© «Наука в центральной России», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сафонов В.В., Шишурин С.А., Меденко А.А., Горбушин П.А., Чумакова С.В.
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ 5
Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ ПО КОЛЕСАМ ТРАКТОРА 16
Ревенко В.Ю., Иванов А.Б., Скорляков В.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ШИН УВЕЛИЧЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА 22
Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КЛОТОИДНОЙ ТРАЕКТОРИИ ВХОДА В ПОВОРОТ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ 30
Тишанинов К.Н.
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ТРИЕРНОГО ЦИЛИНДРА 37
Тишанинов Н.П., Емельянович С.В.
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТРИЕРА.....41
Зорин А.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Скоморохова А.И.
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АПК……..51
Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Рыбин Г.В., Воронин Н.В., Галкин П.А., Иванов О.О.
АНАЛИЗ РАСЧЕТА ПРИВОДА КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА.....60
Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Ноздрина А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕМЯН С ЕМКОСТНЫМ ДАТЧИКОМ ВЫСЕВА.....69
Шварц А.В., Шварц С.А., Сариго Н.В., Лукин С.Г.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЕСПРИВОДНОГО РОТАЦИОННОГО ОРУДИЯ……..……..78
Ли Р.И., Псарев Д.Н., Киба М.Р., Мельников А.Ю., Быконя А.Н.
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ……..87
Гаджииев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П.
УСЛОВИЯ РАБОТЫ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ……..98
Припоров И.Е.
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ЖМЫХА ПОДСОЛНЕЧНОГО……106
Шулаев Г.М., Милушев Р.К.
ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА ДЛЯ КОМБИКОРМОВ…….…116
Воронин Н.В., Скоморохова А.И., Филатов И.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В.
УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛИЗАЦИЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ АПК, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСРЕДСТВОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИХ…..125
Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Невструев Ю.А., Бирюков А.В., Власов Д.А.
МАССОПЕРЕНОС ПРИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ С ВЫРАВНИВАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ……..134
Кошелев А.В.
ОЧИСТКА СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ…….…..142

CONTENTS

Safonov V., Shishurin S., Medenko A., Gorbushin P., Chumakova S.
OPTIMIZATION OF LOCATION OF REGIONAL CENTERS FOR TECHNICAL SERVICE AND REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY.....5
Belyaev A., Afonichev D., Trishina T.
DISTRIBUTION OF TORQUES ON TRACTOR WHEELS.....16
Revenko V., Ivanov A., Skorlyakov V.
USE OF INCREASED TIRES AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT.....22
Belyaev A., Afonichev D., Trishina T.
ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF THE CLOTOID TRAJECTORY OF THE ENTRANCE TO THE TURN OF A WHEELED VEHICLE.....30
Tishaninov K.
METHOD FOR DETERMINING THE OPTIMAL LENGTH OF THE TRIER CYLINDER 37
Tishaninov N., Emelyanovich S.
JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE TRANSMISSION MECHANISM OF THE AUTOREGULATING SYSTEM OF THE TRIER 41
Zorin A., Rodionov Y., Nikitin D., Skomorokhova A.
ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING PARTS OF A LIQUID RING VACUUM PUMP FOR AIC PROCESSES.....51
Nikitin D., Rodionov Y., Rybin G., Voronin N., Galkin P., Ivanov O.
ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE DRIVE OF THE COMBINED DESIGN OF A SINGLE-STAGE LIQUID RING VACUUM PUMP.....60
Balashov A., Strygin S., Pustovarov N., Nozdrina A.
RESEARCH OF INTERACTION THE SEEDS WITH A CAPACITIVE SOWING SENSOR 69
Shvartz A., Shvartz S., Sarigo N., Lukin S.
EXPERIMENTAL EVALUATION OF TILLAGE WORKING BODIES OF A NON-WATER ROTARY IMPLEMENT…….78
Li R., Psarev D., Kiba M., Melnikov A., BykonyaA.
OPTIMISATION OF COMPOSITION AND MODE OF THERMAL TREATMENT OF ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE FOR RECOVERY OF EQUIPMENT BODY PARTS……...87
Gadzhiev P., Ramazanova G., Gadzhiev I.
SEPARATING ELEVATOR OPERATING CONDITIONS POTATO HARVESTERS ON WET SOILS……..98
Priporov I.
ANALYSIS OF DESIGNS OF SUNFLOWER CAKE SHREDDERS…….……106
Shulaev G., Milushev R.
MANUFACTURING TECHNIQUES OF CONCENTRATES FROM VEGETATIVE PROTEIN FOR MIXED FODDERS……..……116
Voronin N., Skomorokhova A., Filatov I., Rodionov Yu., Nikitin D.
METALIZATION HARDENING OF POLYMER PARTS OF MACHINES AND MECHANISMS OF APC PRODUCED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES……125
Zhachkin S., Penkov N., Nevstruev Yu., Biryukov A., Vlasov D.
MASS TRANSFER DURING GALVANIC DEPOSITION OF COATINGS WITH A LEVELING ADDITIVE……..…..134
Koshelev A.
CLEANING OF TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM……..142

УДК 631.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-5-16

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

[1]Сафонов Валентин Владимирович
[1]Шишурин Сергей Александрович
[1]Меденко Александр Александрович
[1]Горбушин Павел Александрович
[1]Чумакова Светлана Валентиновна
[1] ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

Реферат. *Представлены результаты исследований по оптимизации расположения региональных центров технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Предложена оригинальная методика, реализация которой включает в себя три этапа. На первом этапе определяли количество региональных центров технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в области, с учетом соответствующих базовых дилерских стандартов, в зависимости от количества сельскохозяйственной техники в рассматриваемой области. Второй этап включал в себя разделение рассматриваемой территориальной области на подобласти, с использованием теории множеств. Элементы теории множеств позволяли установить взаимно однозначное соответствие между рассматриваемой областью, как территориальным субъектом и некоторым множеством, как математическим объектом, обладающим определенными математическими свойствами. Представление области, являющейся территориальной единицей, в качестве множества, определенного, как математический объект позволяло абстрагироваться и перейти к изучению его физических свойств, используя математические символы и критерии. На заключительном этапе определяли значения эффективного времени для каждого районного центра, вошедшего в рассматриваемую подобласть и осуществляли выбор одного районного центра внутри каждой рассматриваемой подобласти по наименьшему значению эффективного времени. При расчете эффективного времени использовали коэффициент доступности обслуживаемой техники для конкретного районного центра, в котором предполагалось проектирование центра технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Было определено время в пути специалиста сервисного центра - 1,8 ч. Для среднестатистической скорости движения легкового транспорта (70 км/ч) было установлено оптимальное расстояние нахождения объектов технического сервиса от головного или дополнительного сервисных центров - не более 63 км.*

Ключевые слова: *технический сервис, дилерский центр, техническое обслуживание, ремонт, сельскохозяйственная техника, моделирование, повышение эффективности, теория множеств.*

OPTIMIZATION OF LOCATION OF REGIONAL CENTERS FOR TECHNICAL SERVICE AND REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY

[1]Safonov Valentin
[1]Shishurin Sergey
[1]Medenko Alexander
[1]Gorbushin Pavel
[1]Chumakova Svetlana
[1]FGBOU VO “Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilov

Abstract. *The results of studies on optimizing the location of regional centers for maintenance and repair of agricultural machinery are presented. An original technique is proposed, the implementation of which includes three stages. The number of regional centers for maintenance and repair of agricultural machinery in the region, taking into account the relevant basic dealer standards, depending on the number of agricultural machinery in the region under consideration, was determined at the first stage.*

The second stage included the division of the considered territorial area into subareas, using the theory of sets. The elements of set theory made it possible to establish a one-to-one correspondence between the area under consideration as a territorial subject and a certain set as a mathematical object with certain mathematical properties. The elements of set theory made it possible to establish a one-to-one correspondence between the area under consideration as a territorial subject and a certain set as a mathematical object with certain mathematical properties. The representation of an area, which is a territorial unit, as a set, defined as a mathematical object, made it possible to abstract and proceed to the study of its physical properties using mathematical symbols and criteria. he values of the effective time for each district center included in the subdomain under consideration were determined at the final stage, and the choice of one district center within each subdomain under consideration was carried out according to the smallest value of the effective time. The coefficient of availability of serviced equipment for a particular district center, in which it was supposed to design a center for maintenance and repair of agricultural equipment, was used in calculating the effective time. It was determined that the travel time of a service center specialist - 1.8 hours was established. The optimal distance for finding technical service objects from the main or additional service centers - no more than 63 km was established.

Keywords: *technical service, dealership, maintenance, repair, agricultural machinery, modeling, efficiency improvement, set theory.*

Введение. Приоритетами развития АПК в условиях рыночной экономики является направленность на постоянное расширение производства сельскохозяйственной продукции и повышение ее конкурентоспособности [1-3]. Их невозможно достичь без усиления роли эффективной организации машинно-технического обеспечения, прежде всего технического сервиса.

Российский парк сельскохозяйственных машин непрерывно обновляется за счет поступления новой конструктивно более сложной, производительной и энергонасыщенной техники [4-5]. Ее обслуживание и поддержание в работоспособном состоянии невозможно только силами материально-технической базы регионального технического сервиса, как правило, устаревшего. Выполнение этой функции возлагается на региональные дилерские сервисные центры, авторизованные заводы-изготовители, которые не только реализуют технику, но и берут на себя обязательства по снабжению проданной техники необходимыми запасными частями и расходными материалами, выполнению гарантийных обязательств, а также оказывают услуги потребителям по проведению постгарантийного технического сервиса [6].

Бесперебойная работа современных самоходных сельскохозяйственных машин и сложных прицепных агрегатов отечественного и импортного производства во многом зависит от своевременного и качественного выполнения планового технического обслуживания, проведения плановых дефектовок узлов и агрегатов, а также быстрого устранения возникающих в процессе эксплуатации неисправностей.

На сегодняшний день услуги по техническому сервису машинно-тракторного парка осуществляют, как правило, мобильные сервисные бригады, укомплектованные высококвалифицированными специалистами, прошедшими подготовку и аттестацию на заводах-изготовителях этой техники и имеющими в своем распоряжении специализированные сервисные автомобили со всеми необходимыми инструментами [7-9]. В условиях Саратовской области расстояние, преодолеваемое данными бригадами от центральной базы до места выполнения работ, в среднем составляет 250 км в одном направлении, что приводит к увеличению времени простоя техники, ожидающей технического обслуживания или ремонта. Схожая картина наблюдается и в других регионах страны. Данный фактор, во время проведения полевых работ, способствует неэффективному использованию фонда рабочего времени высококвалифицированного персонала сервисной службы, неоправданному увеличению эксплуатационных и амортизационных расходов [10]. Повышение эффективности использования машинно-тракторного парка на современном этапе требует усовершенствования организации регионального технического сервиса.

Методика исследований. На первом этапе оптимизации расположения региональных центров технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники устанавливали их количество в рассматриваемой области, определяемой как произвольный территориальный субъект. Для этого учитывали требования соответствующих базовых дилерских стандартов [11],

которые регламентируют организацию головного и дополнительных сервисных центров, в зависимости от количества техники, находящейся в рассматриваемой территориальной области. Большинство производителей сельскохозяйственной техники имеют собственные нормативы нагрузки головного и последующих дополнительных сервисных центров, однако принцип их организации для большинства производителей схож. За норматив нагрузки сервисных центров производители сельскохозяйственной техники принимают количество единиц техники, находящейся в рассматриваемой территориальной области. Головной центр технического сервиса открывается в рассматриваемой территориальной области в первую очередь, по решению производителя сельскохозяйственной техники. Первый дополнительный сервисный центр рекомендуется организовывать тогда, когда нагрузка на функционирующий головной сервисный центр превысит установленный норматив [11]. Открытие последующих дополнительных сервисных центров следует проводить при превышении норматива нагрузки на функционирующие предыдущие центры.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, количество центров технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники N, в рассматриваемой территориальной области, определяли по следующей зависимости:

$$N = 1 + \frac{\sum_{n=1}^{i} m_n - \text{Н}_\text{Г}}{\text{Н}_\text{Д}}; \quad (1)$$

где m – единица сельскохозяйственной техники, обслуживаемая данным сервисным центром в рассматриваемой области, шт.;

$\text{Н}_\text{Г}$ – норматив максимально рекомендованной нагрузки на головной сервисный центр, шт.;

$\text{Н}_\text{Д}$ – норматив максимально рекомендованной нагрузки на дополнительный сервисный центр, шт.

Так как, головной сервисный центр, как правило, располагается в областном центре, то вторым этапом оптимизации являлось определение наиболее рационального местоположения дополнительных сервисных центров в рассматриваемой территориальной области.

Общее время, затрачиваемое специалистом мобильной ремонтной бригады на выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники t_p определялось по формуле [12]:

$$t_\text{р} = t_\text{п} + t_\text{в пути} + t_\text{работы}; \quad (2)$$

где $t_\text{п}$ – время на подготовку бригады к выезду, ч; $t_\text{в пути}$ – время нахождения специалиста сервисного центра в пути, ч; $t_\text{работы}$ – время проведения работ специалистом сервисного центра по регламенту, ч.

Базовые дилерские стандарты производителей сельскохозяйственной техники указывают рекомендуемое распределение времени специалистов сервисного центра в следующем соотношении:

- время смены – 8 ч., в расчетах принималось равным t_p;
- время на подготовку бригады к выезду $t_\text{п}$ – не более 1 ч.;
- время проведения работ специалистом сервисного центра $t_\text{работы}$ – 65% от t_p (5,2 ч.)

Учитывая распределение времени работы специалиста сервисного центра, из выражения (2) было определено $t_\text{в пути}$, которое составило 1,8 ч. Зная среднестатистическую скорость движения легкового транспорта в смешанном цикле, равную 70 км/ч [13], было установлено оптимальное расстояние нахождения объектов технического сервиса от головного или дополнительного сервисных центров, которое составило не более 63 км.

Критерием оптимизации расположения дополнительных сервисных центров было выбрано эффективное время $t_\text{Э}$, которое затрачивается на преодоление расстояния до всей техники в области из каждого конкретного районного центра. Выбор проводили путем сопоставления полученных значений $t_\text{Э}$ для каждого конкретного районного центра рассматриваемой территориальной области. Данное время определяли как отношение удвоенного расстояния до обслуживаемой техники к среднестатистической скорости движения автомобиля:

$$t_\text{в пути} = t_\text{Э} = \frac{2 \cdot S}{\upsilon_\text{ср}}; \quad (3)$$

где S – расстояние до единицы сельскохозяйственной техники, обслуживаемой данным сервисным центром в рассматриваемой области, км;

$\upsilon_{ср}$ – среднестатистическая скорость движения автомобиля, км/ч.

При этом учитывали тот факт, что данное удвоенное расстояние будет пройдено не менее такого количества раз, которое соответствует количеству сельскохозяйственной техники, обслуживаемой рассматриваемым дополнительным сервисным центром. Тогда формула (3) была представлена в следующем виде:

$$t_{Э} = \sum_{n=1}^{i} \frac{m_n \cdot 2S_n}{\upsilon_{ср}}. \quad (4)$$

Так как в реальных условиях доступность потенциальных мест расположения дополнительных сервисных центров различна, было принято решение учитывать данный факт в формуле (4) коэффициентом доступности $k_{д}$ конкретного районного центра. Указанный коэффициент определяли следующим образом:

$$k_{д} = k_{ди} + k_{но} - k_{п} - k_{пр}; \quad (5)$$

где $k_{ди}$, $k_{но}$, $k_{п}$, $k_{пр}$ – коэффициенты дорожной инфраструктуры, наличия объезда, наличия преград, превышения расстояния соответственно.

Тогда формула (4) была представлена в следующем виде:

$$t_{Э} = \sum_{n=1}^{i} \frac{m_n \cdot 2S_n}{\upsilon_{ср} \cdot k_{д}}. \quad (6)$$

Анализ полученной формулы (6) показал, что определение наиболее рационального месторасположения дополнительных сервисных центров будет тем точнее, чем меньше их одновременно надо определить. Это связано с тем, что по формуле (6) необходимо производить подсчет всех значений $t_{Э}$, по всей рассматриваемой области, не учитывая при этом то, что некоторое количество техники уже закреплено за головным или существующими дополнительными сервисными центрами. Указанный недостаток устраняли путем разделения всей области на подобласти, а затем внутри каждой подобласти осуществляли определение рационального месторасположения дополнительных сервисных центров по выражению (6). Для решения данной задачи использовали теорию множеств. Элементы теории множеств позволяли установить взаимно однозначное соответствие между рассматриваемой областью, как территориальным субъектом и некоторым множеством, как математическим объектом, обладающим определенными математическими свойствами. Представление области, являющейся территориальной единицей, в качестве множества, определенного, как математический объект позволило абстрагироваться и перейти к изучению его физических свойств, используя математические символы и критерии [14].

Была рассмотрена некая область Ω, как территориальный субъект, содержащий некоторое количество подобластей:

$$\Omega = \Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_i. \quad (7)$$

Предположив, что объекты N_i расположены в области Ω, было установлено, что множество $\{N_i\}$ является подмножеством Ω (рисунок 1). Такое представление позволило получить систему объектов или множество:

$$\{N_i\} = \{N_1, N_2, \dots, N_i\}; \quad (8)$$

где N_i – произвольный объект, принадлежащий области.

$$\{N_i\} \in \Omega \quad (9)$$

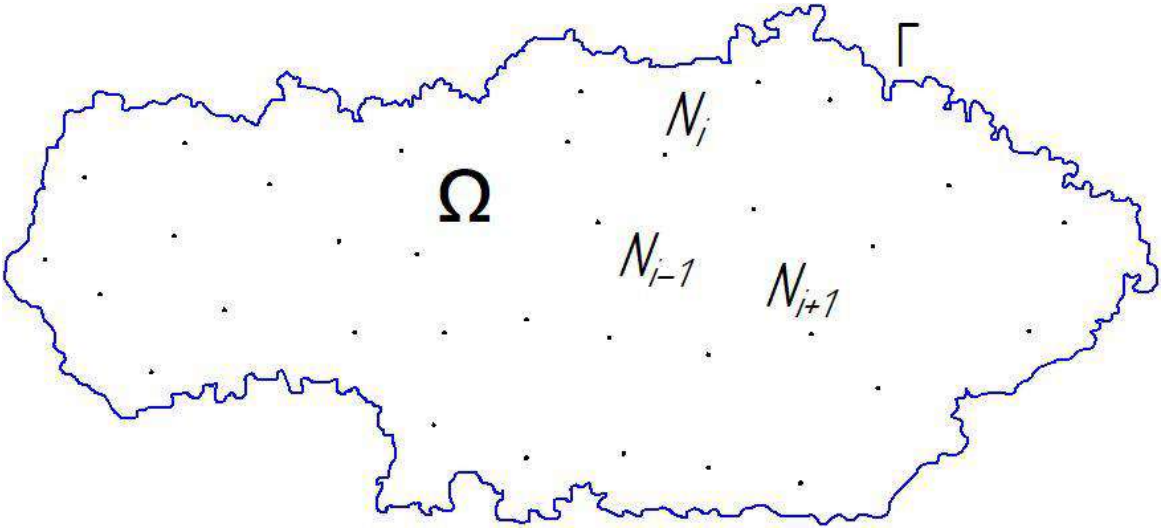


Рисунок 1 – Схема расположения объектов, соответствующая геометрической интерпретации произвольной области Ω: Г – граница области; N_{i-1}, N_i и N_{i+1} произвольные объекты множества $\{N_i\}$

Область Ω являлась конечной и имела непрерывную границу Г, являющуюся совокупностью всех граничных точек, при этом указанная область являлась замкнутой, то есть включала в себя границу.

С целью разделения области Ω на подобласти Ω_i, для множества $\{N_i\}$ было определено подмножество:

$$\left\{N_{i_j}\right\} = \left\{N_{i_1}, N_{i_2}, \dots, N_{i_j}\right\}; \quad (10)$$

где N_{i_j} – произвольный объект, входящий в зону влияния подобласти $\{\Omega_i\}$ (рисунок 2).

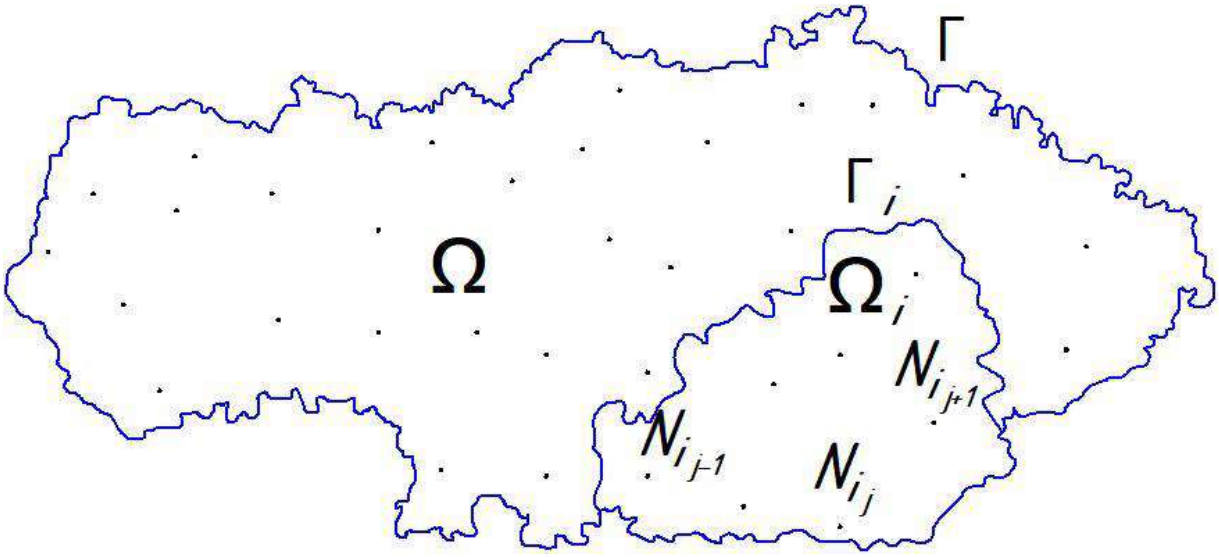


Рисунок 2 – Схема расположения объектов области Ω, соответствующая геометрической интерпретации произвольной подобласти Ω_i: Г – граница области Ω; Γ_i – граница подобласти Ω_i; $N_{i_{j-1}}, N_{i_j}$ и $N_{i_{j+1}}$ – произвольные объекты подмножества $\{N_{i_j}\}$

Критерием принадлежности элемента Ω_i к области Ω являлось следующее выражение:

$$(\Omega_i \subset \Omega) \Leftrightarrow \left(\forall_{N_{i_j}} \left(\left\{N_{i_j}\right\} \in \Omega_i \Rightarrow \left\{N_{i_j}\right\} \in \Omega\right)\right), \text{причем } \Omega_i \subset \Omega. \quad (11)$$

Рассматривая область Ω как множество, были установлены его следующие свойства [15]:

- $\Omega_i \subset \Omega$;
- $(\Omega_i \subset \Omega \wedge \Omega \subset \Omega_i) \Leftrightarrow (\Omega_i = \Omega)$;
- $(\Omega_i \subset \Omega \wedge \Omega \subset \Omega_j) \Rightarrow (\Omega_i \subset \Omega_j)$;
- $\Omega_i \cap \Omega = \Omega_i$;
- $\Omega_i \cup \Omega = \Omega$;
- $N \setminus \Omega \subset N \setminus \Omega_i$;
- $\Omega_i \cap N \setminus \Omega = ø$;
- $(N \setminus \Omega_i) \cup \Omega = N$

Разделяя множество Ω на подмножества Ω_i, установлено, что:

- количество подмножеств Ω_i являлось конечным, так как исходное множество Ω было конечным;
- так как множество Ω_i содержало i элементов, то у него существовало 2^i подмножеств (включая пустое множество ø).

При этом если множество Ω_i не являлось нетривиальным, например, если Ω_i = ø, то оно исключалось из рассмотрения.

Множество подмножеств $\{\rho(\Omega_i)\}$ являлось булеаном, при этом его кардинальное число равнялось 2^i. Также было установлено, что множество Ω_i являлось нетривиальным подмножеством множества Ω, так как Ω_i являлось собственным подмножеством множества Ω и $\Omega_i \neq ø$ [15].

Рассмотрев множество Ω и проведя параллель с множеством $\{N_i\}$, элементами которого являются объекты области, был сделан вывод о возможности применения свойства множества Ω к множеству $\{N_i\}$. Таким образом, разбивая множество $\{N_i\}$ на подмножества, получили совокупность элементов представленных на рисунке 3.

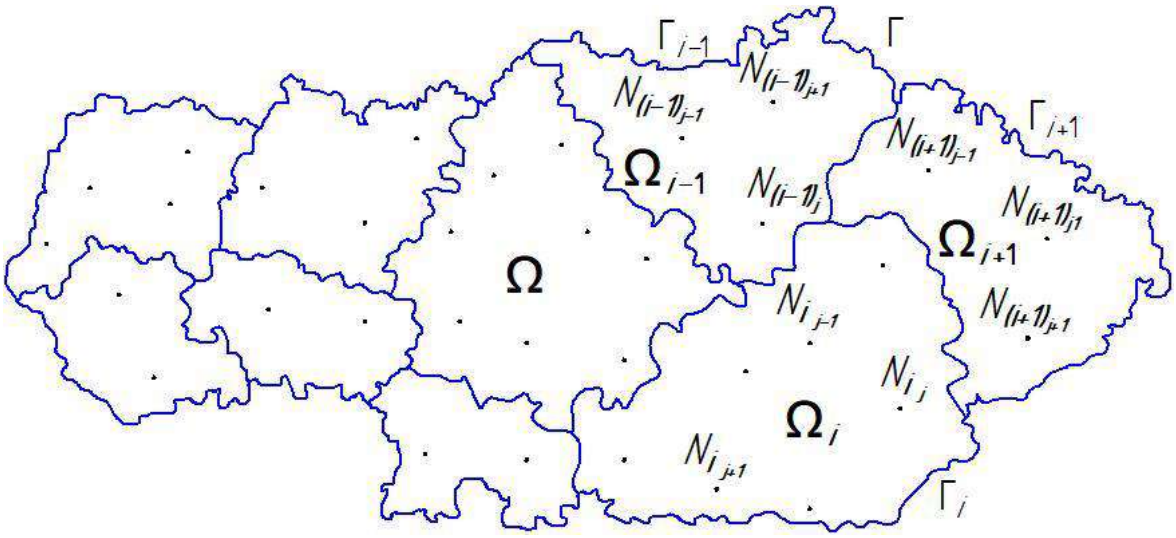


Рисунок 3 – Схема разбиения произвольной области (множества Ω) на зоны влияния (подмножества Ω_i): $\Gamma, \Gamma_{i-1}, \Gamma_i$ и Γ_{i+1} – границы области Ω и подобластей Ω_{i-1}, Ω_i и Ω_{i+1} соответственно; $N_{(i-1)_{j-1}}, N_{(i-1)_j}, N_{(i-1)_{j+1}}, N_{i_{j-1}}, N_{i_j}, N_{i_{j+1}}, N_{(i+1)_{j-1}}, N_{(i+1)_j}$ и $N_{(i+1)_{j+1}}$ – произвольные объекты подмножеств $\left\{N_{(i-1)_j}\right\}, \left\{N_{i_j}\right\}$ и $\left\{N_{(i+1)_j}\right\}$ соответственно

Результаты исследований.

В качестве примера оптимизации расположения дополнительных сервисных центров рассматривали Саратовскую область, разделенную на районы. Для расчетов использовали новое множество $\{E_\Omega\}$. В качестве его объектов рассматривали единицы сельскохозяйственной техники, расположенные на территории Саратовской области и подлежащие техническому обслуживанию и ремонту. Таким образом, одна единица техники на территории области соответствовала одному объекту множества $\{E_\Omega\}$.

Так как множество $\{E_\Omega\}$ состояло из конечного числа элементов, то его мощность $|E_\Omega|$ равнялась количеству его элементов (рисунок 4).

Рисунок 4 – Схема расположения объектов, соответствующая геометрической интерпретации Саратовской области E_Ω: Γ_Ω – граница области, совпадающая с границей множества $\{E_\Omega\}$; m_{i-1}, m_i и m_{i+1} сельскохозяйственная техника, входящая во множество $\{E_\Omega\}$

Таким образом, если $\{E_\Omega\} = \{m_1, m_2, \dots, m_{i-1}, m_i, m_{i+1}, \dots, m_n\}$, то мощность множества $|E_\Omega|$= n; n – совпадало с количеством единиц техники в рассматриваемой области m_n и $n \in [1; m_{max}]$. Так же n должно было удовлетворять неравенству:

$$1 \le n \le m_{max}, \tag{12}$$

где m_{max} – максимальное количество единиц техники в области, так же являлось верхней границей для мощности множества $\{E_\Omega\}$.

Предположив, что множество $\{E_\Omega\}$, обладает всеми свойствами конечного множества, было установлено, что оно имеет подмножества:

$$\left\{E_{\Omega_p}\right\} = \left\{m_{1_p}, m_{2_p}, \dots, m_{i-1_p}, m_{i_p}, m_{i+1_p}, \dots, m_{n_p}\right\}, \tag{13}$$

мощность которых $\left|E_{\Omega_p}\right| = p$ (рисунок 5).

Для количества элементов подмножества $\left\{E_{\Omega_p}\right\}$ выполнялось условие:

$$\left|E_{\Omega_p}\right| < |E_\Omega|, \tag{14}$$

то есть p и n соответствовали неравенству:

$$p < n. \tag{15}$$

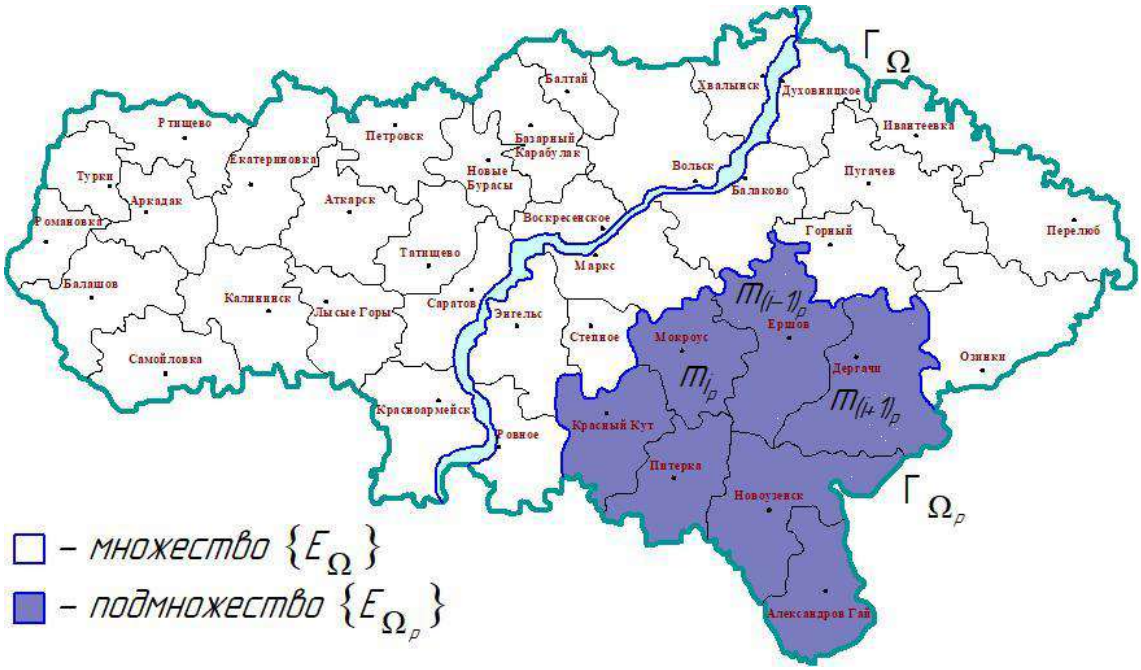


Рисунок 5 – Схема расположения сельскохозяйственной техники в Саратовской области, соответствующая геометрической интерпретации множества $\{E_\Omega\}$ и подмножества $\left\{E_{\Omega_p}\right\}$: Γ_Ω и Γ_{Ω_p} – границы области E_Ω и подобласти E_{Ω_p} соответственно, $m_{(i-1)_p}, m_{i_p}$ и $m_{(i+1)_p}$ – произвольное количество сельскохозяйственной техники в подмножестве $\left\{E_{\Omega_p}\right\}$

Таким образом, было установлено, что любое множество можно разделить на конечное количество подмножеств, а в каждом подмножестве можно определить количество сельскохозяйственной техники, которая входит в него, и производить расчет только с данной техникой (рисунок 6).

В результате проведенных изысканий было установлено, что для правильного распределения множества на подмножества, или области на подобласти необходимо соблюдение следующих условий:

- количество подобластей равно общему количеству сервисных центров (головной (ГСЦ) и дополнительные (ДСЦ)) в области:

$$E_{\Omega_p} = \text{ГСЦ} + \sum_{i=1}^{n} \text{ДСЦ}_i. \tag{16}$$

- количество попавшей в подобласть техники должно стремиться быть равно общему количеству техники, деленому на количество сервисных центров в области:

$$\frac{m_{n_{p-1}}}{m_n} \approx \frac{m_n}{m_n} \approx \frac{m_{n_{p+1}}}{m_n}. \tag{17}$$

Рисунок 6 – Схема распределения подобластей в Саратовской области E_{Ω}: $E_{\Omega_{p-1}}, E_{\Omega_p}$ и $E_{\Omega_{p+1}}$ – подобласти, в каждой из которых может быть расположен дополнительный сервисный центр; $\Gamma_{\Omega_{p-1}}, \Gamma_{\Omega_p}$ и $\Gamma_{\Omega_{p+1}}$ –границы подобластей $E_{\Omega_{p-1}}, E_{\Omega_p}$ и $E_{\Omega_{p+1}}$ соответственно

После разделения области на подобласти, выбиралась одна, затем для каждого попавшего в нее районного центра определялось эффективное время $t_Э$ по формуле (6) и на основании данного показателя делался вывод о целесообразности расположения дополнительного сервисного центра именно в этом районном центре. Определение происходило внутри каждой подобласти, в которой расположение дополнительного сервисного центра еще не определено (рисунок 7).

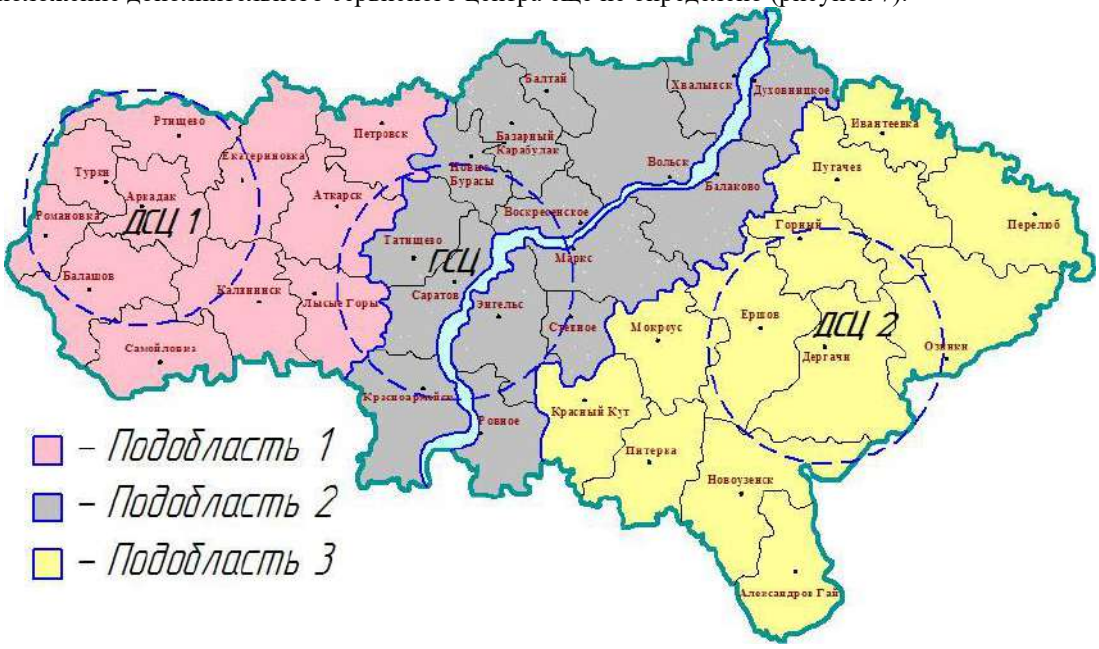


Рисунок 7 – Вариант распределения головного (ГСЦ) и дополнительных (ДСЦ) сервисных центров, на примере Саратовской области

Таким образом, была разработана теоретическая модель, позволяющая определять наиболее рациональное расположение региональных центров технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в рассматриваемой области, определяемой как произвольный территориальный субъект.

Заключение. Совершенствование системы технического сервиса сельскохозяйственной техники целесообразно проводить путем расширения деятельности существующих в регионе предприятий за счет создания дополнительных пунктов технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники.

Однако существующие методы определения рационального количества и месторасположения дополнительных пунктов технического сервиса сельскохозяйственной техники имеют существенные недостатки, и применение их не всегда является возможным или целесообразным. В связи с этим была разработана оригинальная методика определения наиболее рационального количества и месторасположения дополнительных сервисных центров.

Определение наиболее рационального количества дополнительных сервисных центров целесообразно проводить на основании соответствующих базовых дилерских стандартов в зависимости от количества сельскохозяйственной техники в рассматриваемой области.

Методика определения наиболее рационального месторасположения дополнительных сервисных центров включает в себя разделение рассматриваемой области на подобласти, используя теорию множеств, определение значений эффективного времени $t_Э$ для каждого районного центра рассматриваемой подобласти и выбор одного районного центра внутри каждой подобласти по наименьшему значению величины $t_Э$.

Список литературы

1. Организация и развитие фирменного технического сервиса машин и оборудования для АПК / И.Г. Голубев [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – 67 с.

2. Инновационные направления развития ремонтно-обслуживающей базы для сельскохозяйственной техники / С.А. Соловьев [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 160 с.

3. Варнаков В.В. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения / В.В. Варнаков, В.В. Стрельцов, В.Н. Попов, В.Ф. Карпенко и др. – М.: КолосС, 2004. – 253 с.

4. Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве / А.И. Завражнов, Л.В. Бобрович, С.М. Ведищев [и др.] – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 688 с.

5. Шиловский В.Н. Сервисное обслуживание и ремонт машин и оборудования / В Н. Шиловский, А.В. Питухин, В.М. Костюкевич – Санкт-Петербург: Лань, 2019 – 240 с.

6. Шишурин С.А. Повышение эффективности сервисных центров сельскохозяйственной техники John Deere на территории Саратовской области / С.А. Шишурин, С.В. Чумакова, А.А. Меденко // Аграрный научный журнал, 2018. – № 8. – С. 65-68.

7. Головин С.Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования / С.Ф. Головин. – М.: Инфра-М, 2021. – 282 с.

8. Шиловский В.Н. Маркетинг и менеджмент технического сервиса машин и оборудования / В.Н. Шиловский, А.В. Питухин, В.М. Костюкевич – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 272 с.

9. Экономическая оценка проектных решений в агроинженерии / В.Т. Водянников, Н.А. Середа, О.Н. Кухарев [и др.] – Санкт-Петербург: Лань, 2019.

10. Теоретическая модель определения местоположения пунктов технического сервиса сельскохозяйственной техники / В.В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь, 2019. – Т.14. №6(94). – С. 938-945.

11. Руководство по развитию дилера John Deere «Базовый дилерский стандарт и JD Place» http://pathways.eame.deere.com/pathways/.

12. Молокович А.Д. Транспортная логистика / А.Д. Молокович — Минск: Вышэйшая школа, 2019. – 463 с.

13. ГОСТ Р 52398–2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. – М.: Стандартинформ, 2005. – 5 с.

14. Лурье И. Г. Высшая математика: практикум / И.Г. Лурье, Т.П. Фунтикова. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 158 с.

15. Данилов Ю. М. Математика: учебное пособие / Ю.М. Данилов, Н.В. Никонова, С.Н. Нуриева; под ред. Л.Н. Журбенко, Г.А. Никоновой – М.: ИНФРА-М, 2016. – 496 с.

References

1. Organizaciya i razvitie firmennogo tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya dlya APK / I.G. Golubev [i dr.]. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2000. – 67 s.
2. Innovacionnye napravleniya razvitiya remontno-obsluzhivayushchej bazy dlya sel'skohozyajstvennoj tekhniki / S.A. Solov'ev [i dr.]. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2014. – 160 s.
3. Varnakov V.V. Tekhnicheskij servis mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya / V.V. Varnakov, V.V. Strel'cov, V.N. Popov, V.F. Karpenko i dr. – M.: KolosS, 2004. – 253 s.
4. Tendencii razvitiya inzhenernogo obespecheniya v sel'skom hozyajstve / A.I. Zavrazhnov, L.V. Bobrovich, S.M. Vedishchev [i dr.] – Sankt-Peterburg: Lan', 2021. – 688 s.
5. SHilovskij V.N. Servisnoe obsluzhivanie i remont mashin i oborudovaniya / V N. SHilovskij, A.V. Pituhin, V.M. Kostyukevich – Sankt-Peterburg: Lan', 2019 – 240 s.
6. SHishurin S.A. Povyshenie effektivnosti servisnyh centrov sel'skohozyajstvennoj tekhniki John Deere na territorii Saratovskoj oblasti / S.A. SHishurin, S.V. CHumakova, A.A. Medenko // Agrarnyj nauchnyj zhurnal, 2018. – № 8. – S. 65-68.
7. Golovin S.F. Tekhnicheskij servis transportnyh mashin i oborudovaniya / S.F. Golovin. – M.: Infra-M, 2021. – 282 s.
8. SHilovskij V.N. Marketing i menedzhment tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya / V.N. SHilovskij, A.V. Pituhin, V.M. Kostyukevich – Sankt-Peterburg: Lan', 2015. – 272 s.
9. Ekonomicheskaya ocenka proektnyh reshenij v agroinzhenerii / V.T. Vodyannikov, N.A. Sereda, O.N. Kuharev [i dr.] – Sankt-Peterburg: Lan', 2019.
10. Teoreticheskaya model' opredeleniya mestopolozheniya punktov tekhnicheskogo servisa sel'skohozyajstvennoj tekhniki / V.V. Safonov [i dr.] // Nauchnaya zhizn', 2019. – T.14. №6(94). – S. 938-945.
11. Rukovodstvo po razvitiyu dilera John Deere «Bazovyj dilerskij standart i JD Place» http://pathways.eame.deere.com/pathways/.
12. Molokovich A.D. Transportnaya logistika / A.D. Molokovich — Minsk: Vyshejshaya shkola, 2019. – 463 s.
13. GOST R 52398–2005. Klassifikaciya avtomobil'nyh dorog. Osnovnye parametry i trebovaniya. – M.: Standartinform, 2005. – 5 s.
14. Lur'e I. G. Vysshaya matematika: praktikum / I.G. Lur'e, T.P. Funtikova. – M.: INFRA-M, 2013. – 158 s.
15. Danilov YU. M. Matematika: uchebnoe posobie / YU.M. Danilov, N.V. Nikonova, S.N. Nurieva ; pod red. L.N. ZHurbenko, G.A. Nikonovoj – M. : INFRA-M, 2016. – 496 s.

Сведения об авторах

Сафонов Валентин Владимирович – доктор техн. наук, профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия. Тел.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Шишурин Сергей Александрович – доктор техн. наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.Тел.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: s.shishurin@gmail.com.

Меденко Александр Александрович – заместитель директора по послепродажному обслуживанию техники и оборудования, ООО «ТВС-АГРОТЕХНИКА», Россия.Тел.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: a.medenko@tvsagrotechnika.ru.

Горбушин Павел Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия. Тел.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: pavelgorbushin@gmail.com.

Чумакова Светлана Валентиновна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.Тел.: 8 (927) 226-71-10; E-mail: ch-sv@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Safonov Valentin - Doctor of Engineering. Sciences, Professor of the Department "Technical support of the agro-industrial complex", Saratov State Agrarian University named after. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Shishurin Sergey - Doctor of Engineering. Sci., Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State Agrarian University named after V.I. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: s.shishurin@gmail.com.

Medenko Alexander - Deputy Director for after-sales service of machinery and equipment, TVS-AGROTEKHNIKA LLC, Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: a.medenko@tvsagrotechnika.ru.

Gorbushin Pavel - Ph.D. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State Agrarian University named after V.I. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (8452) 74-96-56; E-mail: pavelgorbushin@gmail.com.

Chumakova Svetlana - Ph.D. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics, Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilov. Russia. Tel.: 8 (927) 226-71-10; E-mail: ch-sv@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 21.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 24.03.2022

УДК 629.3.014
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-16-22

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ ПО КОЛЕСАМ ТРАКТОРА

[1]Беляев Александр Николаевич
[1]Афоничев Дмитрий Николаевич
[1]Тришина Татьяна Владимировна
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *Изучены закономерности распределения крутящих моментов по мостам и колесам трактора. В качестве объекта исследований выбран энергонасыщенный универсально-пропашной трактор интегральной схемы класса 2 ЛТЗ-155 со всеми ведущими и управляемыми одинакового размера сдвоенными колесами с шинами типоразмера 9,5-42. Исследования выполнены при следующих вариантах компоновки и условиях движения: 1) прямолинейное движение отдельного трактора – холостой ход; 2) выполнение технологического процесса при работе машинно-тракторного агрегата в междурядьях пропашных культур – культивация; 3) прямолинейное движение машинно-тракторного агрегата с орудиями в транспортном положении – холостой ход. Установлено, что суммарные значения крутящих моментов на колесах трактора при относительно постоянных условиях движения по всем опытным заездам с увеличением поступательной скорости движения возрастают на 5…18 %..вследствие повышения частоты динамического воздействия микропрофиля со стороны опорной поверхности на колеса и колебаний тяговой нагрузки. При этом среднее квадратическое отклонение моментов колес не превышает 18…25 % их средней величины, являющейся для стационарного эргодичного процесса постоянной. При рассмотренных вариантах эксплуатации машинно-тракторного агрегата, перераспределение крутящих моментов, как по мостам, так и по колесам каждой оси, даже, если принять, что к ведущим колесам подводится постоянный суммарный крутящий момент, носит очень сложный и динамичный характер, обусловленный неточностью посадок вследствие допусков соединения в сцепном устройстве между трактором и культиватором из-за невозможности соблюдения соосности охватываемой и охватывающей стыковочных элементов соединительных треугольников, что приводит к асимметрии весовой нормальной нагрузки колес от навесных орудий и соответствующему не пропорциональному распределению тяговых усилий по колесам.*

Ключевые слова: *трактор, машинно-тракторный агрегат, крутящий момент, распределение, ведущие колеса, скорость движения.*

DISTRIBUTION OF TORQUES ON TRACTOR WHEELS

[1]***Belyaev Alexander***
[1]***Afonichev Dmitry***
[1]***Trishina Tatiana***
[1]*FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»*

Abstract. *The regularities of the distribution of torques on axles and tractor wheels have been studied. An energy-saturated universal tractor of class 2 integrated circuit LTZ-155 with all driving and steered twin wheels of the same size with tires of size 9.5-42 was chosen as the object of research. The studies were carried out under the following layout options and driving conditions: 1) rectilinear movement of a separate tractor - idling; 2) execution of the technological process during operation of the machine-tractor unit in row spacing of row crops - cultivation; 3) rectilinear movement of a machine-tractor unit with guns in the transport position - idling. It was found that the total values of torques on tractor wheels under relatively constant driving conditions for all experimental races with an increase in translational speed of movement slightly, by about 5... 18%, increase due to an increase in the frequency of the dynamic impact of the microprofile from the side of the bearing surface on the wheels and fluctuations in the traction load. At the same time, the mean square deviation of the wheel moments does not exceed 18... 25% of their average value, which is constant for a stationary ergodic process. With the considered variants of operation of the machine-tractor unit, the redistribution of torques, both on the axles and on the wheels of each axle, even if we assume that a constant total torque is supplied to the driving wheels, is very complex and dynamic, due to the inaccuracy of landings due to the tolerances of the coupling in the coupling device between the tractor and the cultivator from- due to the inability to comply with the alignment of the covered and encompassing connecting elements of the connecting triangles, this leads to an asymmetry of the normal weight load of the wheels from the mounted guns and the corresponding non-proportional distribution of traction forces on the wheels.*

Keywords: *tractor, machine-tractor unit, torque, distribution, driving wheels, speed.*

Введение. При движении колесного трактора крутящие моменты на его колесах непрерывно меняются, что является следствием не только сложности связей и многообразия процессов, происходящих в силовой системе передачи энергии от двигателя к ведущим колесам самой машины, но, в основном – влияния переменных внешних условий, на которые она реагирует автоматически или под действием управляющего сигнала водителя.

Целью настоящей работы является опытное изучение закономерностей распределения крутящих моментов по мостам и колесам трактора.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на энергонасыщенном универсально-пропашном тракторе с интегральной схемы класса 2 ЛТЗ-155 со всеми ведущими и управляемыми одинакового размера сдвоенными колесами с шинами типоразмера 9,5-42 по методике, изложенной в работах [1, 2, 3]. Распределение крутящих моментов по колесам во многом зависит от наличия и типа дифференциалов, их места установки и характеристик. Для исследований был выбран трактор, оборудованный шестеренным межосевым дифференциалом, шестеренным дифференциалом в заднем ведущем мосту и самоблокирующимся храповым дифференциалом в переднем ведущем мосту, автоматически отключающим забегающее колесо при повороте [4, 5].

При проведении испытаний на «поле, подготовленном под посев», трактор использовался в составе навесного комбинированного машинно-тракторного агрегата (МТА), оборудованного по схеме КРШ-8,1+НП-5,4+ЛТЗ-155+КРШ-8,1 (передняя и задняя навеска машин) [6]. Степень влияния на изучаемые динамические процессы собственных свойств трактора изучали в опытах на одиночном тракторе.

В данной работе проведен анализ результатов, полученных при следующих вариантах компоновки и условиях движения: 1) прямолинейное движение отдельного трактора – холостой ход; 2) выполнение технологического процесса при работе МТА в междурядьях пропашных культур – культивация; 3) прямолинейное движение МТА с орудиями в транспортном положении – холостой ход.

Результаты и их обсуждение. Определенные экспериментально методом тензометрирования величины крутящих моментов $M_{Кр}$ на ведущих колесах трактора [1, 7], по всем вариантам опытов в виде графических зависимостей от поступательной скорости движения V, представлены на рисунках 1, 2 и 3, где введены следующие обозначения: *1* – крутящий момент на правом заднем колесе $M_{Кр\ ПЗ}$; *2* – крутящий момент на левом заднем колесе $M_{Кр\ ЛЗ}$; *3* – крутящий момент на правом переднем колесе $M_{Кр\ ПП}$; *4* – крутящий момент на левом переднем колесе $M_{Кр\ ЛП}$.

Установлено, что суммарные значения крутящих моментов на колесах трактора $M_{Кр\ Сум}$ при относительно постоянных условиях движения по всем опытным заездам с увеличением поступательной скорости движения незначительно, примерно на 5…18 %, возрастают вследствие повышения частоты динамического воздействия микропрофиля со стороны опорной поверхности на колеса и колебаний тяговой нагрузки: при изменении V с 1,43 м/с до 2,06 м/с для трактора и МТА с орудиями в транспортном положении, при незначительном буксовании колес, соответственно получено $M_{Кр\ Сум} = 5{,}81…7{,}04$ кН·м и $M_{Кр\ Сум} = 8{,}22…9{,}8$ кН·м, а при культивации на том же эксплуатационном режиме движения, но при буксовании 15…19 % и изменении V от 1,19 м/с до 1,75 м/с имеем $M_{Кр\ Сум} = 21{,}13…22{,}17$ кН·м (рисунки 1, 2 и 3). При этом среднее квадратическое отклонение моментов колес не превышает 18…25 % их средней величины, являющейся для стационарного эргодичного процесса постоянной.

На рисунке 1 зависимости крутящих моментов на каждом колесе от скорости относятся к прямолинейному движению отдельного трактора. Как видно, моменты по колесам мостов трактора распределяются достаточно равномерно, при скорости движения V = 1,67 м/с крутящий момент на правом заднем колесе $M_{Кр\ ПЗ}$ = 1,35 кН·м, на левом заднем колесе $M_{Кр\ ЛЗ}$ = 1,35 кН·м, на правом переднем колесе 1,9 кН·м, на левом переднем колесе $M_{Кр\ ЛП} = 2{,}15$ кН·м. Таким образом, в общем имеем: при изменении скорости от 1,43 м/с до 2,06 м/с расхождение по передним колесам практически отсутствует (не более 1 %), а по задним – 5,1…12,2 %.

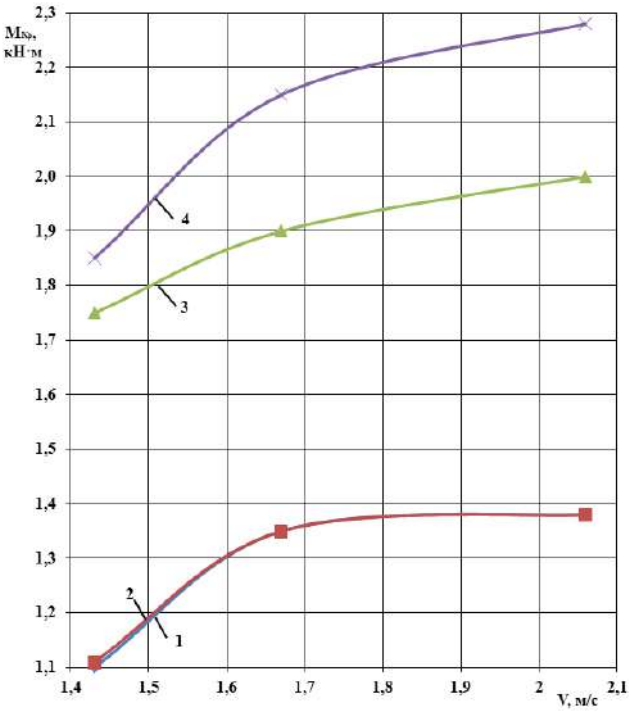


Рисунок 1 – Зависимости крутящих моментов на колесах (1-4) трактора от поступательной скорости движения (прямолинейное движение отдельного трактора – холостой ход)

Расхождение по передним колесам обусловлено несколько разными условиями их сцепления с почвой. Практически равномерное распределение крутящих моментов по левому и правому задним колесам получено вследствие того, что они катятся по следу передних, которые создали для них практически идентичные условия качения и взаимодействия с опорной поверхностью. Также разность моментов возникает, как известно, из-за момента трения в дифференциалах и некоторого расхождения радиусов качения левого и правого колес одной оси [8, 9, 10].

Характер распределения крутящих моментов по мостам (на колесах заднего моста суммарный крутящий момент изменяется в пределах $M_{Кр\ ЗСум} = 2{,}21…2{,}76$ кН·м, а переднего – $M_{Кр\ ПСум} =$ 3,60…4,28 кН·м) обусловлен развесовкой трактора, согласно которой большая часть его веса в статике (60 %) приходится на переднюю ось. Примерно такую же картину распределения указанных крутящих моментов по колесам трактора получили и при культивации МТА с крюковой нагрузкой $P_{кр} = 22{,}4…24{,}3$ кН (рисунок 2). При этом величины крутящих моментов в сравнении с холостым движением МТА на выбранных режимах увеличились в 2,3…2,6 раза. При $V = 1{,}43$ м/с получили следующие значения: $M_{Кр\ ПЗ} = 5{,}53$ кН·м, $M_{Кр\ ЛЗ} = 6{,}35$ кН·м, $M_{Кр\ ППП} =$ 4,85 кН·м, $M_{Кр\ ЛПП} = 4{,}62$ кН·м, а при $V = 1{,}75$ м/с – $M_{Кр\ ПЗ} = 5{,}88$ кН·м, $M_{Кр\ ЛЗ} = 6{,}6$ кН·м, $M_{Кр\ ППП} = 4{,}66$ кН·м, $M_{Кр\ ЛПП} = 5{,}03$ кН·м.

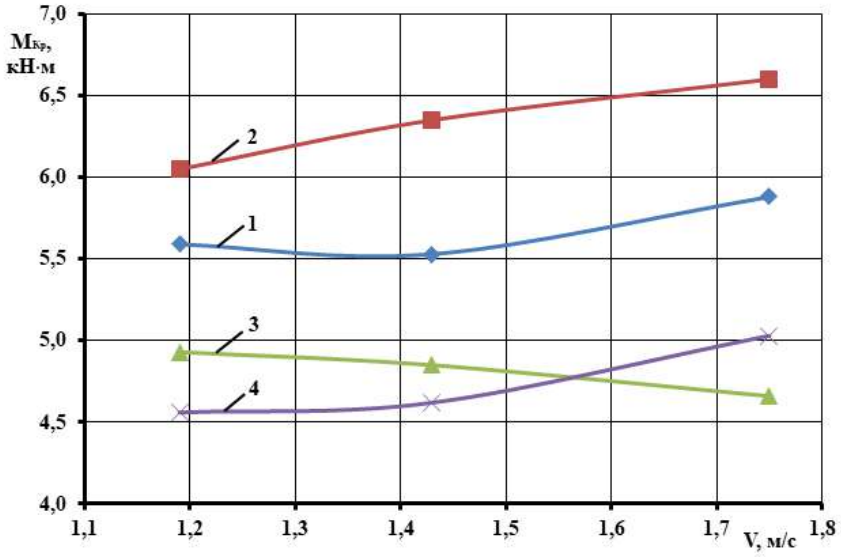


Рисунок 2 – Зависимость крутящих моментов на колесах (1-4) трактора от поступательной скорости движения (собственно выполнение технологического процесса при работе МТА в междурядьях пропашных культур – культивация)

Сравнение динамики изменения крутящих моментов, особенно на передних колесах, доказывает равномерность их распределения по ним. При изменении скорости V от 1,19 м/с до 1,75 м/с в процентном соотношении имеем расхождение: по передним колесам – 7,6…12,9 %, по задним колесам – 4,7…7,5 %. Некоторая неравномерность распределения моментов вызвана также неодинаковыми условиями качения колес и в основном периодическими колебаниями и асимметрией тяговой нагрузки.

Достаточно неоднозначная картина перераспределения крутящих моментов, как по колесам мостов, так и по мостам получена при прямолинейном движении МТА с транспортным положением орудий (рисунок 3).

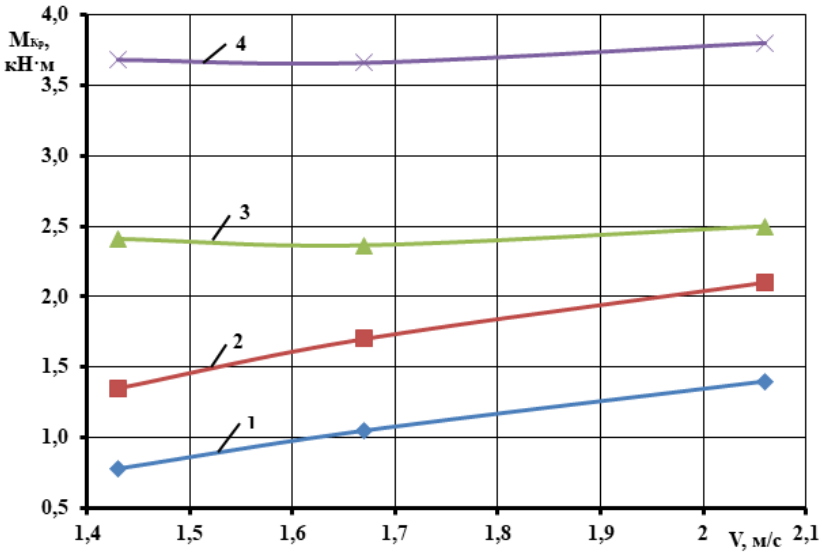


Рисунок 3 – Зависимость крутящих моментов на колесах трактора от поступательной скорости движения (прямолинейное движение МТА с орудиями в транспортном положении – холостой ход)

Сравнивая величины крутящих моментов с их значениями при холостом ходе отдельного трактора, имеем их возрастание в 1,3…1,41 раза. Так при $V = 2{,}06$ м/с получены следующие значения крутящих моментов: $M_{Кр\ ПЗ} = 1{,}4$ кН·м, $M_{Кр\ ЛЗ} = 2{,}1$ кН·м, $M_{Кр\ ПП} = 2{,}5$ кН·м, $M_{Кр\ ЛП} =$ 3,8 кН·м. При изменении V от 1,43 м/с до 2,06 м/с получили следующее расхождение: по передним колесам – 33,3… 42 %, а по задним – 34,2…35,4 %. При этом установлено, что по осям трактора крутящие моменты распределяются также очень неравномерно: $M_{Кр\ ЗСум} = 2{,}13…3{,}50$ кН·м в 1,8…2,9 раза выше, чем $M_{Кр\ ПСум} = 6{,}02…6{,}3$ кН·м, вследствие статической развесовки и большей нагрузки на передний мост от фронтального культиватора, агрегатируемого с навеской трактора посредством сцепки НП-5,4, что создает дополнительный момент, нагружающий передний мост. Следует отметить, что указанный момент способствует разгрузке заднего моста, ухудшая сцепные свойства его шин с почвой. Если при движении одиночного трактора имеем практически нулевое буксование колес, то в рассматриваемом случае оно достигает 3…4 %.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что при рассмотренных вариантах эксплуатации МТА, перераспределение крутящих моментов, как по мостам, так и по колесам каждой оси, даже, если принять, что к ведущим колесам подводится постоянный суммарный крутящий момент, носит очень сложный и динамичный характер, обусловленный неточностью посадок вследствие допусков соединения в сцепном устройстве между трактором и культиватором из-за невозможности соблюдения соосности охватываемой и охватывающей стыковочных элементов соединительных треугольников, что приводит к асимметрии весовой нормальной нагрузки колес от навесных орудий и соответствующему не пропорциональному распределению тяговых усилий по колесам. Неравномерное перераспределение крутящих моментов приводит к перегрузке отдельных шин, узлов и деталей трансмиссии и двигателя, появлению буксования колес, переуплотнению почвы.

Одним из решений выявленной проблемы является конструктивное выполнение навесного устройства с эластомером в сцепном устройстве, выбор которого должен быть обоснован свойствами материала, позволяющими гасить резонансные колебания, незначительной величиной деформации материала и относительной компактностью [11], что позволит обеспечить снижение ударных нагрузок на детали навески при начале движения с места и остановке, обеспечить лучшие сцепные качества трактора, снижение динамических нагрузок на его ходовую часть, трансмиссию и навесное орудие путем гашения продольных и вертикальных колебаний и симметричной передачи весовой нагрузки от орудия к трактору в сцепном устройстве.

Список литературы

1. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01. Мичуринск-наукоград, 2019. 440 с.

2. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. – М.: Колос, 1973. – 194 с.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Сельхозиздат, 1985. 352 с.

4. Обоснование параметров и конструкции универсально-пропашного трактора повышенной эффективности / К.Н. Виноградов, А.С. Дурманов, Н.И. Киселев и др. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1978. 164 с.

5. Тракторы РТМ-160 и РТМ-160У. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание / А.С. Дурманов, Ю.А. Коцарь, Г.А. Головащенко, С.В. Плужников. Саратов: Научная книга, 2006. 352 с.

6. Агротехнические требования к 8-, 12-, 18-рядным культиваторам-растениепитателям для подготовки почвы к посеву и междурядной обработке низкостебельных пропашных культур. Сб. агротехнических требований на тракторы и сельхозмашины. Т. 30. М.: Машиностроение, 1982. С. 96–100.

7. Тензометрия в машиностроении / Р.А. Макаров [и др.]. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.

8. Тракторы: теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. М.: Машиностроение, 1988. 374 с.

9. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.

10. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

11. Патент на полезную модель № 204692 РФ, МПК A01B 61/02. Устройство для навески машин на трактор / А.Н. Беляев, В.Д. Бурдыкин Т.В. Тришина, А.Е. Новиков, И.В. Высоцкая; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2020128722; заявл. 28.08.20; опубл. 07.06.21. Бюл. № 31. 10 с.

References

1. Belyaev A.N. Povyshenie effektivnosti raboty mashinno-traktornyh agregatov na baze integral'nyh universal'no-propashnyh kolesnyh traktorov: dis. … d-ra tekhn. nauk: 05.20.01. Michurinsk-naukograd, 2019. 440 s.

2. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotka opytnyh dannyh. – M.: Kolos, 1973. – 194 s.

3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Sel'hozizdat, 1985. 352 s.

4. Obosnovanie parametrov i konstrukcii universal'no-propashnogo traktora povyshennoj effektivnosti / K.N. Vinogradov, A.S. Durmanov, N.I. Kiselev i dr. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gos. un-ta, 1978. 164 s.

5. Traktory RTM-160 i RTM-160U. Konstrukciya, ekspluataciya i tekhnicheskoe obsluzhivanie / A.S. Durmanov, YU.A. Kocar', G.A. Golovashchenko, S.V. Pluzhnikov. Saratov: Nauchnaya kniga, 2006. 352 s.

6. Agrotekhnicheskie trebovaniya k 8-, 12-, 18-ryadnym kul'tivatoram-rasteniepitatelyam dlya podgotovki pochvy k posevu i mezhduryadnoj obrabotke nizkostebel'nyh propashnyh kul'tur. Sb. agrotekhnicheskih trebovanij na traktory i sel'hozmashiny. T. 30. M.: Mashinostroenie, 1982. S. 96–100.

7. Tenzometriya v mashinostroenii / R.A. Makarov [i dr.]. M.: Mashinostroenie, 1975. 288 s.

8. Traktory: teoriya / V.V. Gus'kov, N.N. Velev, YU.E. Atamanov i dr. M.: Mashinostroenie, 1988. 374 s.

9. Skotnikov V.A., Mashchenskij A.A., Solonskij A.S. Osnova teorii i rascheta traktora i avtomobilya. M.: Agropromizdat, 1986. 383 s.

10. Smirnov G.A. Teoriya dvizheniya kolesnyh mashin. 2-e izd., dop. i pererab. M.: Mashinostroenie, 1990. 352 s.

11. Patent na poleznuyu model' № 204692 RF, MPK A01B 61/02. Ustrojstvo dlya naveski mashin na traktor / A.N. Belyaev, V.D. Burdykin T.V. Trishina, A.E. Novikov, I.V. Vysockaya; zayavitel' i

patentoobladatel' FGBOU VO Voronezhskij GAU. № 2020128722; zayavl. 28.08.20; opubl. 07.06.21. Byul. № 31. 10 s.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Беляев Александр Николаевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Тришина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Author credentials
Affiliations

Belyaev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Afonichev Dmitry – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of electrical engineering and automation of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Trishina Tatiana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 25.03.2022

УДК 631.373
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-22 -29

ПРИМЕНЕНИЕ ШИН УВЕЛИЧЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

[1]Ревенко Валерий Юрьевич
[1]Иванов Артем Борисович
[1]Скорляков Виктор Иосифович
[1]Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)

Реферат. *Известно, что одним из наиболее эффективных способов повышения тягово-сцепных показателей колесных машин, является увеличение площади контакта движителя с опорной поверхностью. Представлены показатели эффективности от использования шин увеличенной размерности, за счет снижения уровня непроизводительных потерь на самопередвижение, буксование и обработку переуплотнённой почвы по следу шин. Приведены результаты сравнительных оценок тяговых и эксплуатационно-технологических показателей трактора Т-150К на вспашке с серийными шинами размерности 21,3R24 и шинами 66х43R25 с дисками DW36х25. В результате проведенного исследования получено увеличение тягового КПД трактора на стерневом фоне на 11 – 44,5 %. Получен рост в 1,36 раза тягового усилия,*

развиваемого трактором по равнению с серийным вариантом при уровне буксования 15 %. Сравнительной оценкой эксплуатационных показателей установлено, что при работе с 5-корпусным плугом, производительность агрегата с шинами 66x43R25 была на 40 % выше, чем у серийного образца, а погектарный расход топлива – на 38 % ниже. При работе с 4-корпусным плугом различия производительности по вариантам составили 36 %, а удельного расхода топлива – 32 %.

Ключевые слова: *трактор, пахотный агрегат, шины, сравнительная оценка, производительность, удельный расход топлива, буксование.*

USE OF INCREASED TIRES AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT

[1]Revenko Valery
[1]Ivanov Artem
[1]Skorlyakov Viktor
[1]Novokuban branch of FSBSI "Rosinformagrotech"(KubNIITiM)

Abstract. *It is known that one of the most effective ways to improve the traction performance of wheeled vehicles is to increase the area of contact between the propeller and the supporting surface. The performance indicators from the use of tires of increased dimension are presented, by reducing the level of unproductive losses for self-movement, slipping and processing of over-compacted soil along the tire track. The results of comparative assessments of traction and operational and technological indicators of the T-150K tractor on plowing with serial tires of dimension 21.3R24 and tires 66x43R25 with DW36x25 disks are presented. As a result of the study, an increase in the traction efficiency of the tractor on a stubble background by 11 - 44.5% was obtained. An increase of 1.36 times in the traction force developed by the tractor compared to the serial version with a slipping level of 15% was obtained. Comparative evaluation of performance indicators found that when working with a 5-furrow plow, the performance of the unit with 66x43R25 tires was 40% higher than that of the serial sample, and per hectare fuel consumption was 38% lower. When working with a 4-furrow plow, the differences in productivity by options amounted to 36%, and specific fuel consumption - 32%.*

Keywords: *tractor, arable unit, tires, comparative assessment, productivity, specific fuel consumption, slippage.*

Введение. В настоящее время в мире наблюдается ухудшение экологической ситуации, связанное с возросшим потреблением минерального топлива. Пробуксовка трактора – один из основных энергоэкономических показателей функционирования тракторных агрегатов. Также – это один из основных показателей взаимодействия ходовой системы трактора с почвой [1, 2]. С ростом коэффициента буксования увеличивается перетирание верхнего слоя почвы, возрастает её плотность, процент содержания пылевых частиц, уменьшается водопроницаемость корнеобитаемого слоя почвы. Как следствие – происходит снижение урожайности возделываемых культур. Поэтому задача ограничения потерь от буксования ведущих колес сельскохозяйственных тракторов достаточно актуальна.

Наибольшая пробуксовка колес отмечена на таких энергоемких технологических операциях как вспашка, чизелевание и других. Известно, что уровень допустимого буксования может быть установлен исходя из экономически эффективного режима работы агрегата на основе компромисса между производительностью и эксплуатационными затратами. При этом генерация требуемого тягового усилия невозможна без буксования колес. По мнению некоторых исследователей, максимальное тяговое усилие может быть развито при пробуксовке порядка 15-20 % [3-5]. Но, вследствие негативного влияния процесса проскальзывания на поверхностный слой почвы ряд ученых не рекомендуют превышать порог предельного буксования колесного трактора выше 15 % [6,7]. В случаях, когда та или иная технологическая операция подразумевает длительную работу тракторного агрегата в режиме высокой крюковой нагрузки (вспашка, чизелевание), оптимальное значение буксования рекомендуют снизить ещё в большей степени – до 8-12 % [3]. В качестве аргументации приводят следующие доводы: если проскальзывание слишком большое – снижается срок эксплуатации шины и тяговый КПД, растет

эксплуатационный расход топлива. Слишком низкое буксование, как правило, говорит о недостаточной ширине захвата сагрегатированного орудия или о необходимости увеличения рабочей скорости (до регламентированного уровня). В целом такой режим работы приводит к неоправданным затратам мощности и топлива на самопередвижение агрегата и излишнему переуплотнению почвы [8-10], что также негативно отражается на производительности.

Следует также отметить, что в исходных требованиях к основным агротехническим показателям сельскохозяйственных тракторов, буксование тракторов при номинальном тяговом усилии не должно превышать 16, 14 и 3 %, соответственно, для колесных 4К2, 4К4 и гусеничных тракторов [11].

Одним из наиболее эффективных способов повышения тягово-сцепных показателей колесных машин является увеличение площади контакта движителя с опорной поверхностью [12]. По результатам предыдущих исследований выявлено, что правильный подбор типоразмера шин, позволяет повысить тягово-скоростные показатели МТА, его агротехническую проходимость, топливную экономичность и экологическую безопасность.

Цель данного исследования – исследование количественных показателей изменения тяговой эффективности трактора класса 3, его производительности и расхода топлива на одной из самых энергоемких технологических операций – на вспашке, при оснащении его шинами различных типоразмеров.

Материалы и методы.

Сравнительная оценка осуществлялась путем поочередной установки на один и тот же трактор серийных шин размерностью 21,3R24 и шин увеличенного типоразмера 66х43R25 (1000/50R25). При этом соблюдалась максимально возможная идентичность как по почвенным, так и по атмосферным условиям.

У серийных шин передней оси устанавливали внутришинное давление на уровне 120 кПа, у шин задней оси - 100 кПа. Во втором варианте опытов трактор укомплектовывали шинами размерности 66х43R25 с дисками DW36х25. Отличительной особенностью указанных колесных движителей радиальной конструкции является их высокая эластичность и пониженная норма слойности. Вследствие их высокой грузоподъёмности, внутришинное давление в данном варианте устанавливали несколько меньшим: 80 кПа у колес передней оси и 60 кПа – у колес задней оси. Показатели шин без вертикальной нагрузки представлены в таблице 1, статические показатели шин – в таблице 2.

Таблица 1 – Показатели шин без вертикальной нагрузки

Шина	Диаметр обода, мм	Свободный диаметр, мм	Высота профиля, мм	Высота грунтозацепов, мм
21,3R24	588	1394	403	37
66х43R25	635	1712	539	30

Таблица 2 – Статические характеристики шин

Шина	Нагрузка на колесо, кН	Давление в шине, кПа	Деформация профиля,		Контурная площадь контакта, см^2
			мм	%	
21,3R24	24,5	100	75	18,6	1904
66х43R25	26,2	60	150	28	5220

Оценку тяговых показателей проводили в соответствии с ГОСТ 30745—2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей». Расход топлива как при проведении тяговых испытаний, так и при эксплуатационно-технологических оценках замеряли с помощью расходомера ИП-263И с ценой деления одного импульса 2,16 см^3/имп. Регистрацию показателей осуществляли посредством информационно-измерительной системы ИП256М конструкции КубНИИТиМ, отличающейся компактным исполнением и малым потреблением энергии.

Контрольные опыты проводили с использованием измерительной системы ИП-254М и в соответствии с ГОСТ 24055—88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения».

При проведении тяговых испытаний тяговую нагрузку изменяли последовательно - от низких, до максимальных значений. Максимальное тяговое усилие ограничивалось для трактора с шинами 66х43-25 падением оборотов двигателя ниже 1700 об/мин, а для серийной компоновки – предельным значением уровня буксования – 37-38 % (что несколько выше регламентируемого ГОСТ 30 %-го уровня.

Тяговые показатели определяли на стерне озимой пшеницы с влажностью почвы в слое 0…30 см – 24 %, контрольные опыты – на стерне озимого ячменя с влажностью почвы 19,6 % в слое 0-30 см.

Агрофизические характеристики почвы оценивали с применением комплекта оборудования передвижной агрохимической лаборатории.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 приведены данные для сравнительной оценк тяговой мощности и буксования трактора Т-150К, оснащенного различными типами колесных движителей.

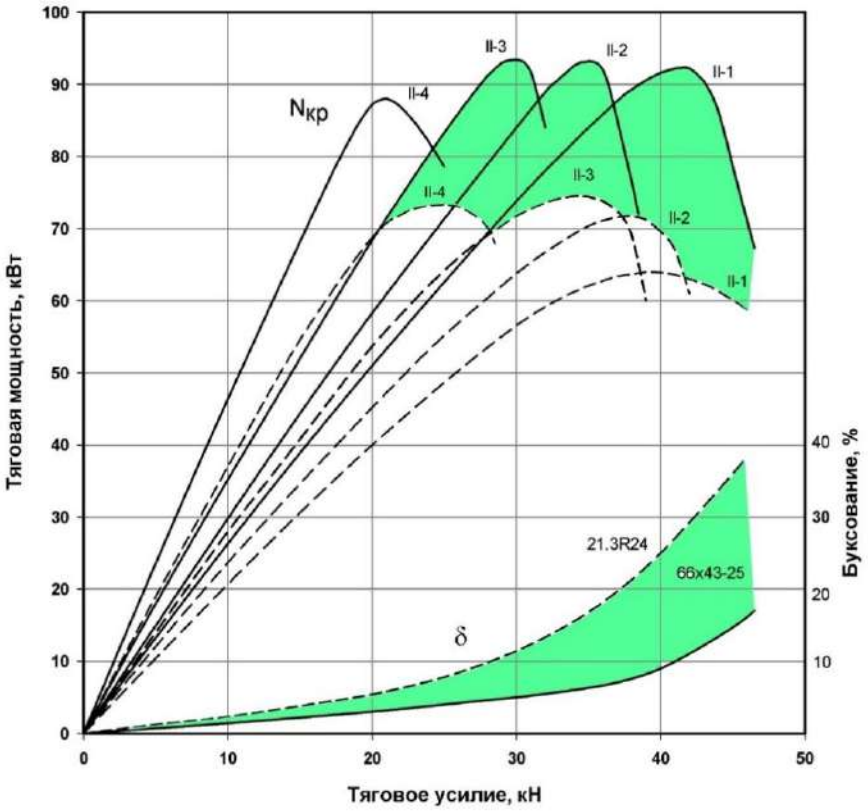


Рисунок 1 – Сравнение тяговых показателей трактора Т-150К с шинами разных типов (- серийные шины 21,3R24; ---- шины увеличенного типоразмера 66х43R25)

Из приведенных диаграмм следует, что при установке на трактор шин размерности 66х43R25 потенциальная тяговая характеристика выровнялась по горизонтали во всем диапазоне тяговых усилий, а абсолютная величина условного тягового КПД достигла значений 0,701-0,737, характерных больше для гусеничной техники (таблица 3). При этом, тяговый КПД по отношению к серийному образцу возрос на всех передачах на 11 - 44,5 %. Существенно повысился коэффициент использования сцепного веса $\varphi_{кр}$. Так при 15 %-м уровне буксования на серийных шинах $\varphi_{кр}$ = 0,428, на широкопрофильных – $\varphi_{кр}$ = 0,545 (прирост 27,3 %). Тяговое усилие $P_{кр}$,

развиваемое трактором при том же 15 %-м уровне буксования возросло в 1,36 раза (с 33,2 кН до 45,2 кН).

Таблица 3 – Тяговые показатели трактора Т-150К на стерневом фоне при максимальной тяговой мощности*

Комплектация шинами	Передача	$N_{кр}$	$P_{кр}$	$V_т$	$G_т$	$g_{кр}$	$n_д$	δ	Условный. тяговый КПД
66х43R25	II-1	92,5	41,5	2,23	29,6	320	2065	10,2	0,737
	II-2	93,1	35,0	2,66	29,4	316	2100	6,3	0,742
	II-3	93,0	30,0	3,10	28,6	308	2010	5,0	0,741
	II-4	88,0	21,0	4,19	28,8	327	2020	3,2	0,701
21.3Р24	II-1	64,0	40,0	1,60	26,2	409	2160	25,0	0,510
	II-2	71,7	38,0	1,89	28,4	396	2140	21,4	0,572
	II-3	74,5	34,5	2,16	29,3	394	2050	16,1	0,594
	II-4	73,3	23,4	3,13	29,1	397	2000	4,3	0,584

*Пояснения к таблице: $N_{кр}$ – тяговая мощность, кВт; $P_{кр}$, – тяговое усилие на крюке, кН; $V_т$, – скорость движения трактора, м/с; $G_т$ – часовой расход топлива, кг/ч; $g_{кр,}$ – удельный расход топлива, г/(кВт-ч); $n_д$ – частота вращения коленвала двигателя, об/мин; δ – буксование, %.

На опытном образце предельное значение $P_{кр}$=46,5 кН было достигнуто при работе двигателя на корректорном участке регуляторной характеристики и падении оборотов до 1450 об/мин. На серийных шинах максимум развиваемого трактором тягового усилия был получен при уровне буксования 38,4 %. При этом, двигатель трактора работал в пределах регуляторного участка характеристики (2150 об/мин).

При проведении хронометражных наблюдений пахотный агрегат Т-150К с серийными шинами двигался правым бортом по дну борозды. В варианте с шинами 66х43R25 с целью улучшения условий труда механизатора и повышения устойчивости и прямолинейности движения трактора была апробирована схема агрегатирования, при которой движение трактора осуществлялось со свесом колес правого борта над бороздой на 0,5-0,55 м. Результаты опытной проверки приведены в таблице 4, из которой следует, что при работе с 5-корпусным плугом производительность агрегата с шинами 66х43-25 была на 40 % выше, чем у серийного образца, а погектарный расход топлива – на 38 % ниже.

Таблица 4 – Основные показатели работы пахотного агрегата

Параметры	Т-150К с шинами 66х43R25		Т-150К с шинами 21.3R24	
Тип плуга	ПЛН-5-35	ПЛН-4-35	ПЛН-5-35	ПЛН-4-35
Твердость необработанной почвы в слое 0-30 см, МПа	1,7	1,7	1,7	1,7
Рабочая скорость, м/с	2,84	3,32	2,01	2,52
Ширина захвата, м	1,84	1,70	1,86	1,66
Глубина обработки, см	21,1	20,3	21,9	21,7
Производительность за час основного времени, га/ч	1,89	2,04	1,35	1,50
Часовой расход топлива, кг/ч	27,1	27,6	26,6	27,0
Удельный расход топлива, кг/га	14,2	13,4	19,6	17,8
Коэффициент использования мощности двигателя	0,93	0,94	0,91	0,92

Указанный рост эффективности объясняется более высокими тягово-сцепными качествами техники с крупногабаритными колесными движителями. Кроме того, равномерное расположение максимумов тяговых мощностей в диапазоне тяговых нагрузок от 21 до 42 кН (см. рисунок 1)

позволило, в зависимости от величины тягового сопротивления орудия, выбирать необходимую скорость движения практически без снижения высокого условного тягового КПД трактора. При работе с 4-х корпусным плугом различия в производительности по вариантам составили 36%, а в удельном расходе топлива – 32,8 %.

Следует отметить, что прирост производительности пахотного агрегата получен не только за счет существенного снижения уровня буксования трактора, но и за счет обработки менее уплотненной колесами трактора почвы. Так, если твердость почвы вне следа трактора в слое 0-30 см в среднем составляла 1,68 МПа, то в следе серийной машины данный показатель составил 2,31 МПа. В следе образца с шинами 66х43-25 – 1,88 МПа.

Анализом проб вспаханной почвы по следам тракторов и вне их следа установлено, что коэффициент крошения пласта по следу в серийном варианте трактора был в 1,36 раза хуже, чем на неуплотненной почве. Показатели крошения пласта почвы после прохода агрегата с широкими шинами отличались от контроля незначительно (Таблица 5).

При подготовке почвы под посев сахарной свеклы, то есть её вспашке на глубину 30-35 см плугом ПЛН-5-35, прирост производительности, в сравнении с контролем за час основного времени, у тракторного агрегата, оснащенного шинами 66х43R25 составил 32,9 %, при снижении удельного расхода топлива гектар на 27,8 %, (Таблица 6).

Таблица 5 – Основные характеристики почвы после вспашки

Вариант	Размер фракций (мм) и содержание их в пробе (%)				Коэффициент крошения пласта	Дисперсия	Ошибка средней
	> 200	200-100	100-50	<50			
Т-150К с шинами 21.3R24	27,0	8,9	11,0	53,1	0,53	0,32	0,04
Т-150К с шинами 66х43R25	7,5	9,0	12,6	70,9	0,70	0,29	0,03
Вне следа	14,5	3,6	10,0	71,9	0,72	0,28	0,03

Таблица 6 – Основные эксплуатационно-технологические показатели пахотного агрегата при подготовке почвы под посев сахарной свеклы

Параметры	Вспашка на глубину 30 - 35 см	
	Т-150К с шинами 21.3R24	Т-150К с шинами 66х43R25
Рабочая скорость, м/с	1,67	2,23
Производительность за час основного времени, га/ч	0,88	1,17
Степень повышения производительности, %	-	32,9
Расход топлива за час основного времени, кг/ч	29,10	30,29
Удельный расход топлива, кг/га	33,1	26,9
Степень снижения удельного расхода топлива, %	-	27,8

Таким образом, в реальных условиях эксплуатации полностью подтверждено предположение о значительном преимуществе трактора с крупногабаритными шинами на работах как с номинальными, так и с высокими тяговыми нагрузками.

Заключение. В результате проведённых исследований установлено, что двукратное увеличение ширины профиля шины в совокупности с увеличением свободного диаметра шины на 22,8 % без применения балластных грузов позволяет повысить тяговый КПД трактора на 20,0…44,5 %. За счет снижения затрат мощности на самопередвижение и буксование, производительность пахотного агрегата увеличилась на 32,9 %, при одновременном снижении погектарного расхода топлива на 27,8 %. Увеличение контурной площади контакта шины с опорным основанием способствует снижению уплотнения почвы по следу колеса на 37,5 %.

Список литературы

1. Липкович Э.И. Методические основы расчета и создания мобильных технологических агрегатов /Э.И. Липкович, Ю.И. Бершицкий, В.Б. Рыков, И.А. Камбулов, В.П. Богданович. Ростов-на-Дону: Терра, 2002. – 200 с.

2. Lee J W., Kim J. S. Kim K. U. S. Computer simulations to maximise fuel efficiency and work performance of agricultural tractors in rotovating and ploughing operations, Biosystems Engineering 142, 2016, pp. 1-11.

3. Molari, G., Bellentani, L., Guarnieri, A., Walker, M., Sedoni, E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. Biosystems engineering 111, 2012, pp. 57-63.

4. Jun H., Kishimoto T., Way T. R., Tauinguhi T. Three direction contact stress distributions for a pneumatic tractor tire in soft soil, Transaction of the ASAE, Vol 41, No 5, 1998, pp. 1237-1242.

5. Grečenko A, Prikner P. Tire rating based on soil compaction capacity. Journal of Terramechanics 52, 2014, pp. 77-92.

6. Porteš P., Bauer F., Čupera J. Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. Soil & Tillage Research 128, 2013, pp. 81- 90.

7. Rational use of energy potential and reduction of the negative impact on the soil of agricultural tractor propellers using instrumental control of slipping / A. B. Ivanov, V. F. Fedorenko, V. E. Tarkivsky, D. A. Petukhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection, Moscow, 21 апреля 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1755-1315/808/1/012019.

8. Lyasko M. I. How to calculate the effect of soil conditions on thrust performance, Journal of Terramechanics, 47, 2010, pp. 423-445.

9. Taghavifar H., Mardani A. On the modeling of energy efficiency indices of agricultural tractor driving wheels applying adaptive neuro-fuzzy inference system, Journal of Terramechanics 47, 2014, pp. 37-47.

10. Иванов, А. Б. К вопросу определения буксования сельскохозяйственных тракторов / А. Б. Иванов, В. Е. Таркивский, В. Ю. Ревенко // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 3(285). – С. 14-19. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-3-14-18.

11. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве: [сборник] / Министерство сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федеральное агентство по сел. хоз-ву; [разраб.: В. П. Елизаров и др.]. – М.: Росинформагротех, – 2005. – 270 с.

12. Уточненная методика определения площади опорной поверхности шин современной сельскохозяйственной техники / В. Ю. Ревенко, С. С. Фролов, А. Н. Ткаченко, А. Б. Иванов // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 7(289). – С. 10-15. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15.

References

1. Lipkovich E.I. Metodicheskie osnovy rascheta i sozdaniya mobil'nyh tekhnologicheskih agre-gatov /E.I.Lipkovich, YU.I.Bershickij, V.B.Rykov, I.A.Kambulov, V.P.Bogdanovich. Rostov-na-Donu: Terra, 2002. – 200 s.

2. Lee J W., Kim J. S. Kim K. U. S. Computer simulations to maximise fuel efficiency and work performance of agricultural tractors in rotovating and ploughing operations, Biosystems Engineering 142, 2016, pp. 1-11.

3. Molari, G., Bellentani, L., Guarnieri, A., Walker, M., Sedoni, E. Performance of an agricultural trac-tor fitted with rubber tracks. Biosystems engineering 111, 2012, pp. 57-63.

4. Jun H., Kishimoto T., Way T. R., Tauinguhi T. Three direction contact stress distributions for a pneumatic tractor tire in soft soil, Transaction of the ASAE, Vol 41, No 5, 1998, pp. 1237-1242.

5. Grečenko A, Prikner P. Tire rating based on soil compaction capacity. Journal of Terramechanics 52, 2014, pp. 77-92.

6. Porteš P., Bauer F., Čupera J. Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. Soil & Tillage Research 128, 2013, pp. 81- 90.

7. Rational use of energy potential and reduction of the negative impact on the soil of agricultural tractor propellers using instrumental control of slipping / A. B. Ivanov, V. F. Fedorenko, V. E. Tarkivsky, D. A. Petukhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 3, Mining, Production,

Transmission, Processing and Environmental Protection, Moscow, 21 aprelya 2021 goda. – Moscow, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1755-1315/808/1/012019.

8. Lyasko M. I. How to calculate the effect of soil conditions on thrust performance, Journal of Terramechanics, 47, 2010, pp. 423-445.

9. Taghavifar H., Mardani A. On the modeling of energy efficiency indices of agricultural tractor driving wheels applying adaptive neuro-fuzzy inference system, Journal of Terramechanics 47, 2014, pp. 37-47.

10. Ivanov, A. B. K voprosu opredeleniya buksovaniya sel'skohozyajstvennyh traktorov / A. B. Ivanov, V. E. Tarkivskij, V. YU. Revenko // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2021. – № 3(285). – S. 14-19. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-3-14-18.

11. Iskhodnye trebovaniya na bazovye mashinnye tekhnologicheskie operacii v rastenievodstve: [sbornik] / Ministerstvo sel. hoz-va Ros. Federacii, Federal'noe agentstvo po sel. hoz-vu; [raz-rab.: V. P. Elizarov i dr.]. – M.: Rosinformagrotekh, – 2005. – 270 s.

12. Utochnennaya metodika opredeleniya ploshchadi opornoj poverhnosti shin sovremennoj sel'skohozyajstvennoj tekhniki / V. YU. Revenko, S. S. Frolov, A. N. Tkachenko, A. B. Ivanov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2021. – № 7(289). – S. 10-15. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ревенко Валерий Юрьевич – ученый секретарь, кандидат технических наук, Новокубанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», Россия, г. Новокубанск, e-mail: sksskniish@rambler.ru

Иванов Артем Борисович – научный сотрудник Новокубанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», Россия, г. Новокубанск, e-mail: artem_b_ivanov@mail.ru

Скорляков Виктор Иосифович – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Новокубанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», Россия, г. Новокубанск, e-mail: skorlv@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Revenko Valery – Scientific Secretary, Candidate of Technical Sciences, Novokuban branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies for Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex", Russia, Novokubansk, e-mail: sksskniish @rambler.ru.

Ivanov Artem Borisovich - researcher of the Novokuban branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies for Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex", Russia, Novokubansk, e-mail: artem_b_ivanov@mail.ru

Skorlyakov Victor Iosifovich - Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Novokubansk branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies for Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex", Russia, Novokubansk, e-mail: skorlv@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 29.03.2022

УДК 629.3.076
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-30-37

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КЛОТОИДНОЙ ТРАЕКТОРИИ ВХОДА В ПОВОРОТ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

[1]Беляев Александр Николаевич
[1]Афоничев Дмитрий Николаевич
[1]Тришина Татьяна Владимировна
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *Проведена теоретическая оценка влияния поступательной скорости движения колесной машины и угловой скорости поворота ее управляемых колес на основные характеристики клотоидной кривой. Расчеты проводились при следующих исходно-начальных параметрах, характеризующих конструктивно-геометрические особенности колесной машины: продольная база машины 2,6 м; расстояние между осями шкворней переднего моста 1,8 м; предельный угол поворота управляемых колес 33°30'. Варьировались скорость поступательного движения машины и угловая скорость поворота управляемых колес. Результаты выполненной оценки следующие. При постоянной угловой скорости поворота передних колес 0,195 с$^{-1}$ и при изменении скорости поступательного движения в интервале от 0, 57 м/с до 1,78 м/с максимальная абсцисса клотоидной кривой увеличилась с 0,113 м до 1,074 м – почти в десять раз, а максимальная ордината с 1,703 м до 5,141 м – примерно в три раза. При постоянной поступательной скорости 1,41 м/с и при изменении угловой скорости в диапазоне от 0,0974 с$^{-1}$ до 0,292 с$^{-1}$, что соответствует интервалу времени поворота колес на максимальный угол от 2 с до 6 с, получено: максимальная абсцисса с увеличением угловой скорости уменьшается с 2,585 м до 0,305 м – в 8,5 раз, а максимальная ордината – с 7,689 м до 2,79 м – в 2,8 раза. Расчетом установлено, что минимальный радиус кривизны траектории в конце участка входа в поворот равен 5,061 м, что соответствует, как и должно быть, значению минимального теоретического радиуса, приведенному в технических характеристиках некоторых колесных машин при принятых исходно-начальных параметрах.*

Ключевые слова: *колесная машина, вход в поворот, скорость, траектория, клотоида.*

ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF THE CLOTOID TRAJECTORY OF THE ENTRANCE TO THE TURN OF A WHEELED VEHICLE

[1]Belyaev Alexander
[1]Afonichev Dmitry
[1]Trishina Tatiana
[1]FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»

Abstract. *A theoretical assessment of the influence of the translational speed of a wheeled vehicle and the angular rotation speed of its steered wheels on the main characteristics of the clotoid curve is carried out. The calculations were carried out with the following initial parameters characterizing the structural and geometric features of the wheeled vehicle: the longitudinal base of the machine is 2.6 m; the distance between the axes of the front axle pins is 1.8 m; the maximum angle of rotation of the driven wheels is 33 °30'. The speed of the translational movement of the machine and the angular rotation speed of the controlled wheels was varied. The results of the evaluation are as follows. With a constant angular rotation speed of the front wheels of 0.195 s-1 and with a change in the speed of translational motion in the range from 0.57 m/s to 1.78 m / s, the maximum abscissa of the clotoid curve increased from 0.113 m to 1.074 m – almost tenfold, and the maximum ordinate from 1.703 m to 5.141 m - approximately three times. At a constant translational speed of 1.41 m/s and with a change in angular velocity in the range from 0.0974 s-1 to 0.292 s-1, which corresponds to the time interval of turning the wheels at a maximum angle from 2 s to 6 s, it was obtained: the maximum abscissa decreases with an increase in angular velocity from 2.585 m to 0.305 m - by 8.5 times, and the*

maximum ordinate - from 7,689 m to 2.79 m - 2.8 times. The calculation established that the minimum radius of curvature of the trajectory at the end of the section of the entrance to the turn is equal to 5,061 m, which corresponds, as it should be, to the value of the minimum theoretical radius given in the technical characteristics of some wheeled vehicles with the accepted initial parameters.

Keywords: *wheeled vehicle, entrance to the turn, speed, trajectory, clotoid.*

Введение. Для снижения экономических затрат, достижения высокой производительности и маневренности колесной машины требуется обеспечение такого режима ее работы, который бы наиболее полно соответствовал и техническим характеристикам, и условиям эксплуатации, для чего выбираются способы движения, исходя из конкретных условий функционирования. Таким образом, технология производства работ колесной машиной должна предусматривать соблюдение кинематических характеристик движения и эксплуатационных условий проведения работ. Колесная машина при работе проходит путь значительной длины, чередуя прямолинейное движение с поворотами. Постоянно и практически циклично повторяющийся характер изменения прямолинейных ходов и поворотов определяет как раз способ движения колесной машины, соответствующий конкретным условиям эксплуатации. Ухудшение качества работы, повышение динамических нагрузок как на машину, так и на опорную поверхность, возрастание уровня психомоторных затрат водителя, снижение технико-экономических показателей выполнения операций напрямую зависят от применяемого способа поворота.

Особенно сложным участком поворота является «вход в поворот». К тому же при совершении поворота колесная машина в большинстве случаев более половины всей траектории движется с переменным радиусом кривизны, а следовательно, задача определения и анализа указанной траектории является актуальной.

Улучшение маневренности и сохранение при этом устойчивости приводит не только к повышению безопасности движения, но и к снижению динамических нагрузок на детали и узлы машины, позволяет выполнять технологический процесс с более высокими скоростями и обеспечивает повышение производительности. Однозначно, что при проектировании машин необходимо проводить оценку влияния конструктивных и эксплуатационных параметров на показатели маневренности.

Управляемость и устойчивость автомобильных и тракторных средств в настоящее время оцениваются экспериментально [1, 2], что трудоемко и затратно. Использование методов математического моделирования позволяет избежать сложностей, имеющих место при экспериментальных исследованиях.

При теоретических исследованиях движения колесной машины на повороте изучают ее поведение на следующих основных этапах выполнения маневра:

- вход в поворот;
- установившийся поворот;
- выход из поворота.

Наиболее сложным является участок входа в поворот, в процессе прохождения которого достаточно интенсивно меняются и кинематические, и силовые характеристики колесной машины.

Одним из наиболее простых и достаточно точных аналитических способов, описывающих движение колесной машины при входе в поворот, является метод определения абсцисс $x(t)$ и ординат $y(t)$ кривой траектории ее кинематического центра в момент времени t от начала маневра, изложенный в работах [3, 4, 5], в основе которого лежат следующие уравнения параметрического вида:

$$x(t) = v\int \sin\left[v\int \frac{\sin(\omega t)}{\left[\frac{B}{2}(tg\,\omega t) + L\right]\cos(\omega t)}\,dt \right] dt; \qquad (1)$$

$$y(t) = v\int \cos\left[v\int \frac{\sin(\omega t)}{\left[\frac{B}{2}(tg\omega t) + L\right]\cos(\omega t)} dt \right] dt, \quad (2)$$

где v – поступательная скорость движения машины, м/с;

ω – угловая скорость поворота внутреннего, по отношению к центру поворота, переднего колеса, $с^{-1}$;

B – расстояние между осями шкворней переднего моста, м;

L – продольная база машины, м.

В приведенных формулах (1) и (2) задана линейная функция $\alpha = \omega\tau$, что соответствует равномерному вращению рулевого колеса и поэтому с достаточно высокой степенью точности – равномерному повороту управляемых колес на некоторый угол α. При этом кривая, которую будет очерчивать любая точка колесной машины на опорной поверхности, будет представлять собой клотоиду [6, 7, 8] – кривую, характеризующаяся тем, что радиус ее кривизны ρ обратно пропорционален пройденному пути l, что выражается формулой

$$\frac{1}{\rho} = \frac{l}{C}, \quad (3)$$

где C – параметр кривой, $м^2$.

Известно [4, 5], что

$$\rho = \frac{dl}{d\varphi}, \quad (4)$$

где φ – полярный угол.

Подставив (4) в (3) получим

$$ldl = Cd\varphi. \quad (5)$$

Интегрируя зависимость (5) получаем уравнение клотоиды в полярных координатах

$$l = \sqrt{2C\varphi}. \quad (6)$$

С использованием формул (3) – (6) рекомендуется проводить проектирование новых и давать оценку существующим дорогам транспортных сетей различного назначения в соответствии с действующими сводами правил (СП 34.13330.2021, СП 37.13330.2012, СП 99.13330.2016, СП 288.1325800.2016), разработанными как раз на основе зависимостей (3) – (6) и практических рекомендаций из условия обеспечения безопасности движения ограничением нарастания величины центробежного ускорения, действующего на колесную машину, не более допускаемой [9].

Для клотоиды этапа «вход в поворот» применение указанного подхода для ее анализа и определения рациональных параметров, по нашему мнению, не совсем целесообразно, так как, кроме ограничения центробежной силы инерции, целевыми характеристиками оценки являются также максимальные абсцисса x_{max} и ордината y_{max} кривой в конце участка, определяющие наличие-отсутствие экскавационно-бульдозерного эффекта и маневренность транспортного средства [10, 11, 12], угол наклона продольной оси колесной машины к координатным осям в конце участка, так как он, вместе с видом траектории переменной кривизны будет определять качество перехода с нее на окружность постоянного радиуса участка установившегося движения, что также определяет площадь поверхности для разворота (рисунок 1, рисунок 2).

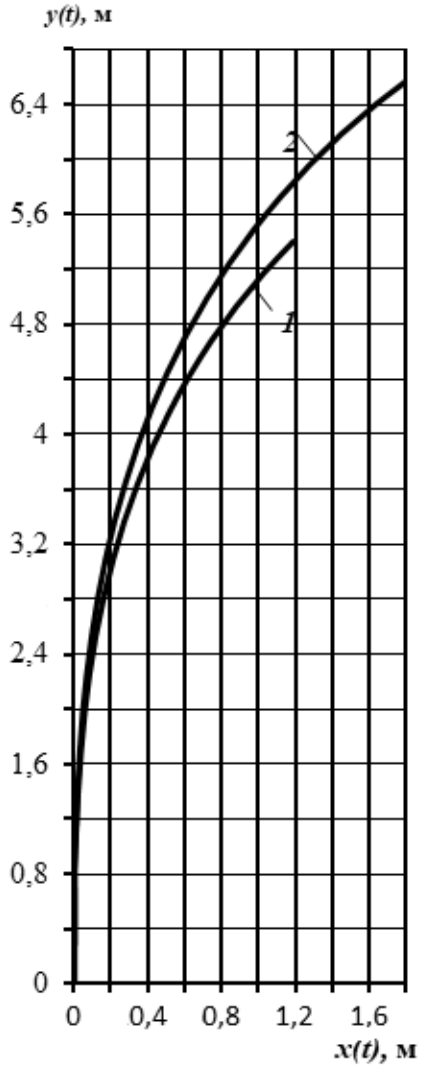
Целью настоящей работы является аналитическая оценка влияния скорости поступательного движения и угловой скорости поворота управляемых колес на основные характеристики клотоидной кривой, а именно, определение при этом:

- вида клотоиды;

- текущих и максимальных (в конце участка) координат кривой входа в поворот – абсцисс и ординат;
- длины клотоидной кривой;
- углов наклона продольной оси машины к осям координат.

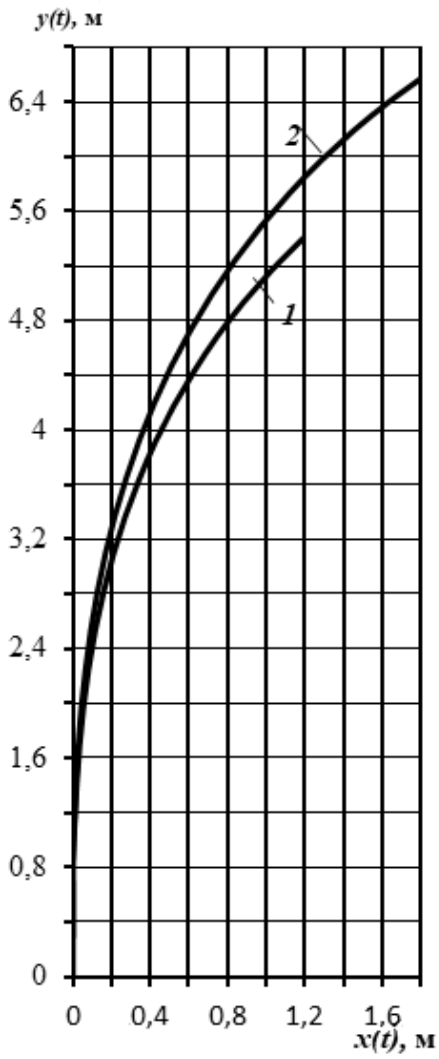
Расчеты проводились при следующих исходно-начальных параметрах, характеризующих конструктивно-геометрические особенности колесной машины: $L = 2{,}6$ м; $B = 1{,}8$ м; $\alpha_{\max} = 33°30'$, и варьировании v, ω и t.

В результате расчетов получили, что при постоянной угловой скорости $\omega = 0{,}195$ c^{-1}, что соответствует повороту колес из нейтрального положения в крайнее левое или крайнее правое на максимальный угол $\alpha_{\max} = \omega t_{\max}$ за время $t_{\max} = 3$ с и при изменении поступательной скорости движения колесной машины в интервале от $v = 0$, 57 м/с (2,05 км/ч) до $v = 1{,}78$ м/с (6,41 км/ч) максимальная абсцисса клотоидной кривой $x_{\max}$ увеличилась с 0,113 м до 1,074 м – почти в десять раз, а максимальная ордината $y_{\max}$ – с 1,703 м до 5,141 м – примерно в три раза (рисунок 3).



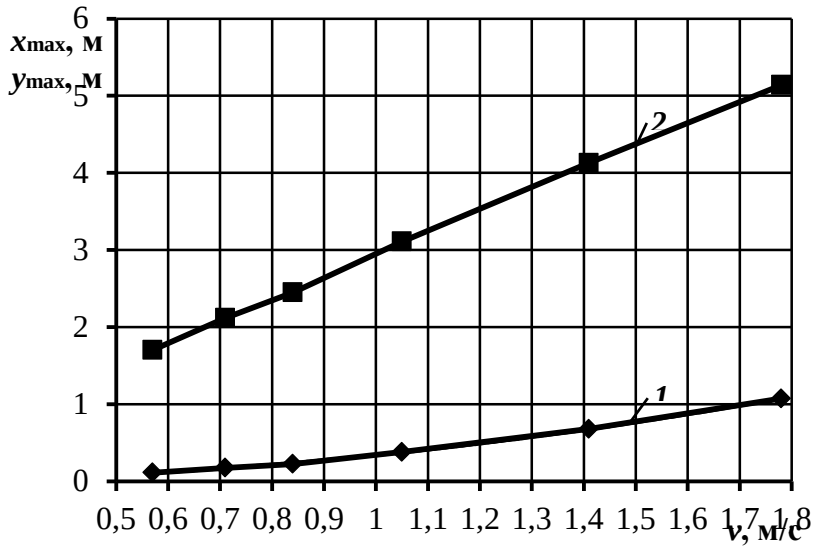
1 – $\omega = 0{,}117$ c^{-1}; *2* – $\omega = 0{,}146$ c^{-1}

Рисунок 1 – Клотоидные кривые траекторий входа в поворот при $v = 1{,}41$ м/с



1 – $v = 1{,}41$ *м/с*; *2* – $v = 1{,}78$ *м/с*

Рисунок 2 – Клотоидные кривые траекторий входа в поворот при $\omega = 0{,}195$ c^{-1}



1 – x_{max} ; *2* – y_{max}

Рисунок 3 – Зависимости максимальных абсцисс x_{max} и ординат y_{max} клотоидных кривых от скорости движения при $\omega = 0{,}195$ с$^{-1}$

При постоянной поступательной скорости $v = 1{,}41$ м/с (5,08 км/ч) и при изменении угловой скорости в диапазоне от $\omega = 0{,}0974$ с$^{-1}$ до $\omega = 0{,}292$ с$^{-1}$, что соответствует интервалу времени поворота колес на угол α_{max} от $t = 2$ с до $t = 6$ с, получено: x_{max} с увеличением ω уменьшается с 2,585 м до 0,305 м – в 8,5 раз, а y_{max} – с 7,689 м до 2,79 м – в 2,8 раза (рисунок 4).

Радиус кривизны ρ в любой точке клотоиды (рисунок 1, рисунок 2), с учетом (1) и (2), определяется по формуле [6, 7]

$$\rho = \frac{\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right]^{1,5}}{\frac{dx}{dt}\frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt}\frac{d^2x}{dt^2}} . \quad (7)$$

Углы наклона β и ψ продольной оси машины, соответственно к осям ординат и абсцисс, которые, в том числе, влияют на положение центра окружности постоянной кривизны, следующего за рассматриваемым, участка установившегося движения, определяют характер сопряжения двух разных этапов, и влияют на площадь участка для совершения поворота, дают, соответственно следующие выражения:

$$\mathrm{tg}\,\beta = \frac{dx}{dy} ; \quad (8)$$

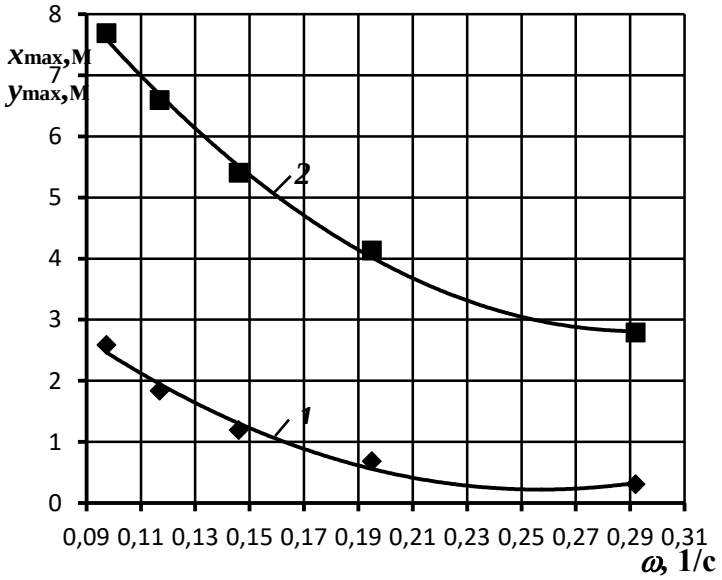
$$\mathrm{tg}\,\psi = \frac{dy}{dx} . \quad (9)$$

Расстояние до любого участка кривой траектории от начала совершения маневра (длина траектории) l вычисляется по формуле

$$l = \int_0^{t_l} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}\, dt\,, \qquad (10)$$

где t_l – время от начала маневра, с.

Так расчетом, согласно (7) в верхних точках всех кривых (рисунок 3, рисунок 4), получили $\rho_{\min} = 5{,}061$ м, что соответствует, как и должно быть, значению минимального теоретического радиуса R_T, приведенному в технических характеристиках некоторых колесных машин при $L = 2{,}6$ м; $B = 1{,}8$ м; $\alpha_{cp} = 28°18'$ (соответствует $\alpha_{\max} = 33°30'$) [10, 11, 12].



1 – $x_{\max}$; *2* – $y_{\max}$

Рисунок 4 – Зависимости максимальных абсцисс $x_{\max}$ и ординат $y_{\max}$ клотоидных кривых от угловой скорости поворота управляемых колес при $v = 1{,}41$ м/с

При $v = 1{,}41$ м/с и $\omega = 0{,}117$ с$^{-1}$ из (8) и (9), соответственно, получили $\beta = 46{,}28°$ и $\psi = 43{,}72°$. При том же значении v, но при $\omega = 0{,}146$ с$^{-1}$ – $\beta = 36{,}96°$ и $\psi = 53{,}04°$ (рисунок 1).

При постоянной $\omega = 0{,}195$ с$^{-1}$ варьированием $v = 1{,}41$ м/с и $v = 1{,}78$ м/с, соответственно, имеем $\beta = 27{,}77°$, $\psi = 62{,}23°$ и $\beta = 35{,}05°$, $\psi = 54{,}95°$ (рисунок 2).

Таким образом, рациональные скорость поступательного движения машины и угловая скорость поворота колес при совершении маневра «вход в поворот» должны обуславливаться, в первую очередь, сохранением качественных показателей технологического процесса, уменьшением участка совершения маневра, снижением величины и интенсивности нарастания инерционных сил, действующих на машину и отклоняющих ее от требуемой траектории движения.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51960-2002. Тракторы сельскохозяйственные колесные. Метод оценки управляемости. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 8 с.

2. ГОСТ 31507-2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 51 с.

3. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Беляев. Мичуринск-наукоград, 2019. 440 с.

4. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn / A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, I.A. Vysotskaya, T.V. Trishina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. Vol. 9. №. 1. Pp. 4527–4531.

5. Determination of Theoretical Path of Vehicle Motion upon Cornering / A.N. Belyaev, V.P. Shatsky, V.G. Kozlov, T.V. Trishina, I.A. Vysotskaya // Journal of Applied Science and Engineering. Taiwan. 2022. Vol. 25. № 5. Pp. 741–747.

6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1961. 871 с.

7. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. М.: ДМК-Пресс, 2009. 1264 с.

8. Theoretical Foundations of the Method of Designing a Clothoid Track with Approximation of Succession of Points / A.V. Skrypnikov, A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, E.V. Chernyshova // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 726). 2019. Pp. 654–667.

9. Транспорт леса. Сухопутный транспорт / Э.О. Салминен [и др.]; под ред. Э.О. Салминена. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 368 с.

10. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.

11. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

12. Тракторы: теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 374 с.

References

1. GOST R 51960-2002. Traktory sel'skohozyajstvennye kolesnye. Metod ocenki upravlyaemosti. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2003. 8 s.

2. GOST 31507-2012. Avtotransportnye sredstva. Upravlyaemost' i ustojchivost'. Tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytanij. M.: Standartinform, 2013. 51 s.

3. Belyaev A.N. Povyshenie effektivnosti raboty mashinno-traktornyh agregatov na baze integral'nyh universal'no-propashnyh kolesnyh traktorov: dis. … d-ra tekhn. nauk: 05.20.01 / A.N. Belyaev. Michurinsk-naukograd, 2019. 440 s.

4. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn / A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, I.A. Vysotskaya, T.V. Trishina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. Vol. 9. №. 1. Pp. 4527–4531.

5. Determination of Theoretical Path of Vehicle Motion upon Cornering / A.N. Belyaev, V.P. Shatsky, V.G. Kozlov, T.V. Trishina, I.A. Vysotskaya // Journal of Applied Science and Engineering. Taiwan. 2022. Vol. 25. № 5. Pp. 741–747.

6. Vygodskij M.YA. Spravochnik po vysshej matematike. M.: Nauka, 1961. 871 s.

7. D'yakonov V.P. Enciklopediya komp'yuternoj algebry. M.: DMK-Press, 2009. 1264 c.

8. Theoretical Foundations of the Method of Designing a Clothoid Track with Approximation of Succession of Points / A.V. Skrypnikov, A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, E.V. Chernyshova // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 726). 2019. Pp. 654–667.

9. Transport lesa. Suhoputnyj transport / E.O. Salminen [i dr.]; pod red. E.O. Salminena. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2009. 368 s.

10. Skotnikov V.A., Mashchenskij A.A., Solonskij A.S. Osnova teorii i rascheta traktora i avtomobilya. M.: Agropromizdat, 1986. 383 s.

11. Smirnov G.A. Teoriya dvizheniya kolesnyh mashin. 2-e izd., dop. i pererab. M.: Mashinostroenie, 1990. 352 s.

12. Traktory: teoriya / V.V. Gus'kov, N.N. Velev, YU.E. Atamanov i dr.; pod obshch. red. V.V. Gus'kova. M.: Mashinostroenie, 1988. 374 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Беляев Александр Николаевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Тришина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Authors credentials

Affiliations

Belyaev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Afonichev Dmitry – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of electrical engineering and automation of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Trishina Tatiana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of applied mechanics of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: t.v.trishina@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 20.03.2022

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-37-41

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ТРИЕРНОГО ЦИЛИНДРА

[1]Тишанинов Константин Николаевич

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

Реферат. *Известно, что сельскохозяйственные предприятия укомплектованы зерноочистительными агрегатами типа ЗАВ-40 и КЗС-40. Триерные блоки агрегатов в 90% случаев выведены из эксплуатации, так как они не обеспечивают требуемого качества очистки зерна и не надежны в работе – возникают технологические отказы из-за завалов ячеистых цилиндров. Частично решить эту проблему возможно за счет использования триерных блоков с оптимальной длиной триерного цилиндра. Это приведет к существенному уменьшению потерь чистого зерна в отходы с сохранением приемлемого уровня остаточной засоренности и повышению безотказности. Разработана математическая модель работы триерного блока по параметрам остаточной засоренности и потерям чистого зерна. Установлено, что остаточная засоренность экспоненциально убывает по длине кукольного цилиндра, а потери чистого зерна в отход растут линейно. Установлено, что потери чистого зерна в отход по длине овсюжного цилиндра падают экспоненциально. Получена формула для определения оптимальной длины триерного цилиндра, которая зависит от степени выделения примеси и величины потерь чистого зерна. Обоснован критерий оптимальной работы триерного блока. Подтверждена гипотеза об одинаковой степени выделения примеси по всей длине триерного цилиндра. На основе полученных результатов даны рекомендации для разработчиков триерных блоков.*

Ключевые слова: *триер, математическая модель, критерий оптимальности.*

METHOD FOR DETERMINING THE OPTIMAL LENGTH OF THE TRIER CYLINDER

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

Abstract. *It is known that agricultural enterprises are equipped with grain cleaning units of the ZAV-40 and KZS-40 types. It is known that in 90% of cases trier blocks of units are taken out of service, since they do not provide the required quality of grain cleaning and are unreliable in operation - technological failures occur due to blockages of cellular cylinders. This problem can be partially solved by using indented blocks with the optimal length of the indented cylinder. This will lead to a significant reduction in the loss of clean grain to waste while maintaining an acceptable level of residual contamination and increasing reliability. A mathematical model has been developed for the operation of the grading unit according to the parameters of residual contamination and losses of clean grain. It was found that the residual contamination decreases exponentially along the length of the doll cylinder. The loss of clean grain to waste grows linearly. It was found that the loss of pure grain to waste along the length of the oat cylinder decreases exponentially. A formula has been obtained to determine the optimal length of the indented cylinder, which depends on the degree of impurity release and the amount of pure grain loss for the doll cylinder. The criterion of optimal operation of the indenter block has been substantiated. The hypothesis about the same degree of impurity release along the entire length of the indented cylinder was confirmed. On the basis of the results obtained, recommendations are given for the developers of indented blocks.*

Keywords: *trier, mathematical model, optimality criterion.*

Введение. Триерная очистка является важной технологической операцией, позволяющей доводить качество зернового вороха до требуемых кондиций по чистоте. Большинство хозяйств укомплектованы триерными блоками, но из-за низкого качества их работы они выведены из эксплуатации. Триерные блоки требуют более точной настройки, которая обеспечивала бы высокую степень очистки и низкие потери чистого зерна в отход [1-3]. Частично результата можно достичь, введя в эксплуатацию триерные блоки с оптимальной длиной для конкретных условий производства. В данной работе предложен метод вычисления оптимальной длины триерных цилиндров для обеспечения их качественной работы, что является актуальной задачей.

Результаты и обсуждение. Составим математическую модель работы триерного цилиндра. Для этого разделим триерный цилиндр на элементарные участки длины. Предположим, что степень выделения примесей одинаковая по всей длине кукольного цилиндра и для элементарного участка Δl составляет величину p (Рисунок 1).

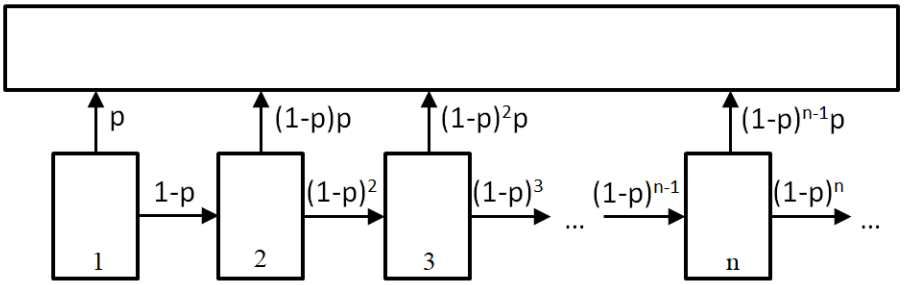


Рисунок 1 – Схема расчета остаточной засоренности для n-го участка кукольного цилиндра

С первого участка цилиндра выделяется p-ая часть зерновой примеси. Соответственно на второй участок длины поступает примесь в долевом соотношении 1-p. Из оставшейся примеси в количестве (1-p) со второго участка выделится примесь (1-p)p. Тогда на третий участок поступит примесь в количестве (1-p) – $(1-p)p=(1-p)^2$. Аналогично получим, что после n-го участка остаточная засоренность составит величину $(1-p)^n$.

Если остаточная засоренность экспоненциально падает по длине кукольного цилиндра, то потери чистого зерна в отход растут линейно (Рисунок 2, 3).

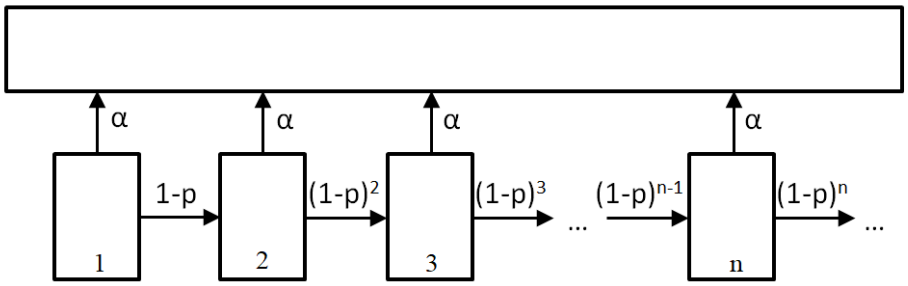


Рисунок 2 – Схема расчета потерь чистого зерна для n-го участка кукольного цилиндра

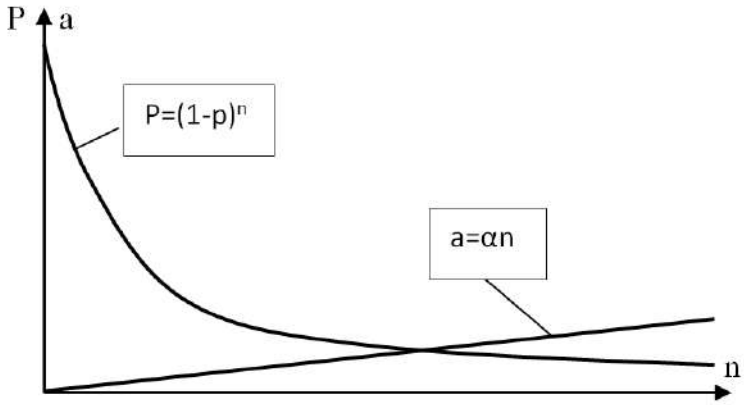


Рисунок 3 – Расчет критерия оптимальности (K) по длине кукольного цилиндра (n)

Введем критерий оптимальности работы кукольного цилиндра (K), который учитывал бы и величину остаточной засоренности (P), и величину потерь чистого зерна (a) (Формула 1).

$$K = P+a = (1-p)^n + \alpha n, \quad (1)$$

Тогда для оптимальной работы кукольного цилиндра K→min.

Из рисунка 3 видно, что остаточная засоренность (P) падает быстрее, чем растут потери чистого зерна в отход (a). Поэтому критерий оптимальности K=K(n) в начале графика падает. В конце графика потери чистого зерна растут быстрее, чем падает остаточная засоренность. Поэтому критерий оптимальности растет. Так как функция K=K(n) непрерывная, то она содержит один экстремум, при котором критерий K будет минимальным. Очевидно, что критерий K примет минимальное значение тогда, когда K^I станет равным 0.

$$K^I = 0,$$

$$(1-p)^n \cdot \ln(1-p) + \alpha = 0$$

Отсюда следует, что:

$$n = \log_{1-p}(-\alpha/\ln(1-p)). \quad (2)$$

Если остаточная засоренность (P) и потери чистого зерна (a) величины неравнозначные, тогда введем коэффициент соответствия K_1, причем:

$$K = P + K_1 \cdot a,$$

Тогда в общем случае получим:

$$n = \log_{1-p}(-K_1 \cdot \alpha/\ln(1-p)), \quad (3)$$

$$L = \Delta l \cdot n, \quad (4)$$

где L – оптимальная длина кукольного цилиндра.

Аналогично получим, что для овсюжного цилиндра потери чистого зерна a_2 после n-го участка составят:

$$a_2 = (1-\alpha_2)^n. \quad (5)$$

Рассмотрим пример выделения просо из пшеницы [4]. В этом эксперименте использовалось стендовое оборудование, способное замерять изменение остаточной засоренности по длине триерного цилиндра. Исходная засоренность $З_и$ составляла 11,5%, подача зерна W равнялась 2,9 т/ч. Необходимо определить степень выделения примесей – величину р (Таблица 1).

Таблица 1 – Вычисление степени выделения примеси (р)

Номер участка длины триера	Остаточная засоренность, $З_и$, %	Степень выделения i-го участка, $р_и$	Среднее значение р	Расчетное значение остаточной засоренности, %
0	11,5	-	-	11,5
1	6,8	0,408	0,463	6,2
2	3,1	0,544	0,463	3,3
3	1,8	0,419	0,463	1,8
4	1	0,444	0,463	0,96
5	0,5	0,500	0,463	0,51
6	<0,5	-	0,463	0,27
7	<0,5	-	0,463	0,14
8	<0,5	-	0,463	0,075
9	<0,5	-	0,463	0,040
10	<0,5	-	0,463	0,021

Как видно из Таблицы 1, наблюдаемое явление укладывается в гипотезу о равномерной степени выделения примесей по всей длине триерного цилиндра. В реальных условиях эксплуатации не все примеси будут легко выделяться. Степень выделения для них будет существенно ниже. При вычислении оптимальной длины триерного цилиндра необходимо пользоваться разными данными для составления полной картины выделения примесей с разными свойствами по длине триерного цилиндра. Также необходимо учитывать минимальный приемлемый уровень триерной очистки. Если оптимальная длина меньшей необходимой для достаточной степени очистки, то за оптимальную нужно брать необходимую. В других случаях оптимальную длину нужно вычислять по формулам (3), (4), (5).

Выводы: Оптимальная длина ячеистой поверхности определяется с помощью данных изменения остаточной засоренности и потерь чистого зерна в отходы по длине триерного цилиндра.

Список литературы

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

2. Абидуев А.А. Обоснование методики выбора размера ячеек триерных цилиндров // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2012. - №3 (38).

3. Абидуев А.А. Выбор размера ячеек триерных цилиндров // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2013. - №4 (43).

4. Анашкин А.В., Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н., Терляхин М.И., Осин В.Н. Разработать метод и средства эффективного использования инновационных зерноочистительных технологий // Отчет о НИР № 007-ГЗ/У1371/648 от 30.12.2014 (Федеральное агентство научных организаций), с. 64…65.

References

1. Abiduev A.A. Investigation of the process of grain falling out of the cells of indented cylinders // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of VSGTU). - 1989.
2. Abiduev A.A. Substantiation of the method for choosing the size of cells of indented cylinders // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of the VSGTU). - 2012. - No. 3 (38).
3. Abiduev A.A. The choice of the size of the cells of indented cylinders // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of VSGTU). - 2013. - No. 4 (43).
4. Anashkin A.V., Tishaninov N.P., Tishaninov K.N., Terlyakhin M.I., Osin V.N. To develop a method and means of effective use of innovative grain-cleaning technologies // Report on research work No. 007-GZ / U1371 / 648 dated 12/30/2014 (Federal Agency for Scientific Organizations), p. 64 ... 65.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Константин Николаевич - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, E-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Konstantin - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, E-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 18.02.2022

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-41-51

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТРИЕРА

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

Реферат. *Дан анализ эксплуатационных условий использования зерноочистительных технологий. Обоснована необходимость автоматической корректировки скоростного режима работы триера с учетом изменчивости подачи зерносмеси. Предложена конструктивная схема передаточного механизма автоматической системы управления работой триера. Обосновано, что взаимосвязь углов поворота управляющего и управляемого звеньев с опережением приращения последнего во всем диапазоне регулирования обеспечивается при скользящем контакте между ними. Диапазоны углов поворота управляющего (α) и управляемого (β) звеньев составляют соответственно 19° и 27,6°. Теоретически подтверждено, что начальное соотношение приращений углов (Δβ и Δα) составляет 1,4, а конечное – 1,75. При этом обеспечивается высокое качество воспроизведения оптимальных скоростных режимов работы триера для каждого из шести уровней интервально изменяемой величины подачи зерносмеси. Начальные величины длин управляющего и управляемого звеньев от точки их контакта до осей поворота составляют соответственно 70 и 50 мм. Исходное положение управляющего звена относительно горизонта составляет 54,75°. Его поворот вместе с валом клапанов регулятора до начала контакта с управляемым звеном, когда обеспечивается подача* W_{min} *= 1,2 т/ч, составляет 35,75°. Установка управляемого звена на ручке постоянного резистора в исходное положение*

производится после ее поворота на угол 172,1°, который обеспечивает минимальный скоростной режим работы триера – n_{min} = 34 об/мин.

Ключевые слова: *триер, зерносмесь, очистка, качество, режимы работы, авторегулирование.*

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE TRANSMISSION MECHANISM OF THE AUTOREGULATING SYSTEM OF THE TRIER

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

Abstract. *An analysis of the operating conditions for the use of grain cleaning technologies is given. The necessity of automatic adjustment of the speed mode of the trier operation, taking into account the variability of the supply of grain mixture, is substantiated. A constructive scheme of the transmission mechanism of the automatic control system for the operation of the trier is proposed. It is substantiated that the relationship of the angles of rotation of the control and controlled links with the advance of the increment of the latter in the entire range of regulation is provided with a sliding contact between them. The rotation angle ranges of the control (α) and controlled (β) links are 19° and 27.6°, respectively. It is theoretically confirmed that the initial ratio of increments of angles (Δβ and Δα) is 1.4, and the final one is 1.75. This ensures a high quality of reproduction of the optimal high-speed modes of operation of the trier for each of the six levels of the interval-changing value of the feed of the grain mixture. The initial values of the lengths of the control and controlled links from the point of their contact to the axes of rotation are 70 and 50 mm, respectively. The initial position of the control link relative to the horizon is 54.75°. Its rotation together with the shaft of the regulator valves before contact with the controlled link, when the supply Wmin = 1.2 t/h is ensured, is 35.75°. Setting the controlled link on the handle of the fixed resistor to its original position is carried out after it is rotated through an angle of 172.1°, which ensures the minimum speed of the trier - n_{min} = 34 rp/m.*

Keywords*: trier, grain mixture, cleaning, quality, operating modes, automatic control.*

Введение. В производственных условиях сложно обеспечить стабильную подачу зерносмеси в триерные блоки по причинам: изменчивости ее физико-механических свойств; разной степени заполнения завальных ям; случайного характера обрушения зернового монолита и условий его захвата рабочими органами перевалочных средств [1-3]. Еще сложнее обеспечить качественное деление зернового потока от перевалочных средств на технологические каналы триерных блоков существующими средствами [4-6]. Погрешность деления потока сыпучих материалов делителями флажкового, призменного и тарельчатого исполнений достигает 150%, что приводит к снижению качества процесса по остаточной засоренности и технологическим потерям [7-10]. Вторая задача, обусловленная необходимостью качественного деления зернового потока в многоканальных зерноочистительных технологиях, успешно решается с использованием разработанных авторегулируемых делителей [11-13], а для компенсации негативного влияния на технологический процесс нестабильной подачи зерносмеси в триерные блоки необходимы средства автоматизированного управления их работой. В ФГБНУ ВНИИТиН впервые найдено принципиально новое решение этой задачи [14], установлены взаимосвязи величин подачи (W) с оптимальными скоростными режимами работы (n) триера [15-17], но для воспроизведения этих взаимосвязей в автоматическом режиме необходим простой и надежный передаточный механизм. Обоснование его параметров по взаимосвязям $W_i = f(n_i)$ представляет собой актуальную научную задачу.

Материалы и методы. Исходной базой при обосновании параметров передаточного механизма послужили закономерности взаимосвязей: угла поворота ручки переменного резистора (β) и скоростного режима работы триера (n); величины подачи зерносмеси (W) с величиной управляющего воздействия (α); угла β с углом α во всем диапазоне изменения W. При расчете параметров управляющего и управляемого звеньев использовали методы теоретической механики и математического анализа. Проверку воспроизводимости оптимальных скоростных режимов (n) работы триера при различных подачах зерносмеси (W) производили статистическими методами.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований с использованием ручного способа управления процессом установлены оптимальные скоростные режимы (*n*) работы триера для интервально изменяемых подачи (*W*) и настройки выводного лотка по углу $\gamma_п$. Ручное управление скоростным режимом осуществлялось переменным резистором и частотным преобразователем, что позволило связать угол поворота ручки резистора с частотой тока (φ), частотой вращения цилиндра и подачей (*W*). Эти исследования позволили установить оптимальные (рациональные) скоростные режимы работы триера по комплексному критерию качества для каждого из интервальных значений *W*.

Затем для тех же значений *W* были экспериментально установлены вертикальные смещения (*h*) стабилизирующей емкости, углы поворота (α) вала клапанов делителя потока зерна [18], который был использован в качестве регулятора (второй канал перекрыт) и массы зерна в стабилизирующей емкости ($M_{ЗЕ}$) на моменты стабилизации процесса при различных *W*.

Величины *h*, α и $M_{ЗЕ}$ представляют собой управляющие воздействия, из которых α выбрано наиболее предпочтительным, так как управляемый объект (ручка поворота) резистора имеет идентичный характер движения с поворотом вала клапанов. Указанные выше взаимосвязи, необходимые для расчета параметров передаточного механизма, представлены в таблице 1, а на рисунке 1 графически подтверждена возможность считать функции $\varphi = f\ (W)$ линейными для каждого варианта настройки выводного лотка по углу $\gamma_п$.

Из таблицы 1 видно, что наибольший диапазон *W* с оптимальными показателями работы триера обеспечивается при $\gamma_п = 55°$. Нижний участок диапазона *W* при $\gamma_п = 35°$ не обеспечивается по показателю остаточной засоренности ($З_о$) зерна из-за частичной загрузки ячеистого цилиндра по длине, когда свободная его часть с некоторой вероятностью захватывает примесные частицы и забрасывает их в выводной лоток с чистым зерном. Тот же отрицательный эффект, хотя и в меньшей степени (меньше длина незагруженной части ячеистого цилиндра), проявляет себя и при $\gamma_п = 45°$ относительно горизонта.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования передаточного механизма

Положение лотка $\gamma_п$, град	Частота вращения цилиндра *n*, об/мин	Положение шибера	Подача зерна *W*, т/ч	***Смещение емкости (h), мм***	***Угол поворота (β) ручки резистора град***	Частота тока, Гц	Угол поворота вала клапанов (α), град
35	30	5	3,07	***53,25***	***154,8***	31,8	49,0
35	32	6	3,71	***57,0***	***165,2***	34,2	52,5
35	35	7	4,35	***59,0***	***178,5***	37,3	54,7
45	30	3	1,83	***44,25***	***154,8***	31,8	41,0
45	32	4	2,45	***49,0***	***164,3***	34,0	45,75
45	33	5	3,07	***53,25***	***169,9***	35,3	49,0
45	35	6	3,71	***57,0***	***178,5***	37,3	52,5
45	38	7	4,35	***59,0***	***190,2***	40,0	54,7
55	34	2	1,2	***37,5***	***172,1***	35,8	35,75
55	35	3	1,83	***44,25***	***178,5***	37,3	41,0
55	36	4	2,45	***49,0***	***181,6***	38,0	45,75
55	37	5	3,07	***53,25***	***186,7***	39,2	49,0
55	38	6	3,71	***57,0***	***191,1***	40,2	52,5
55	40	7	4,35	***59,0***	***199,7***	42,2	54,7

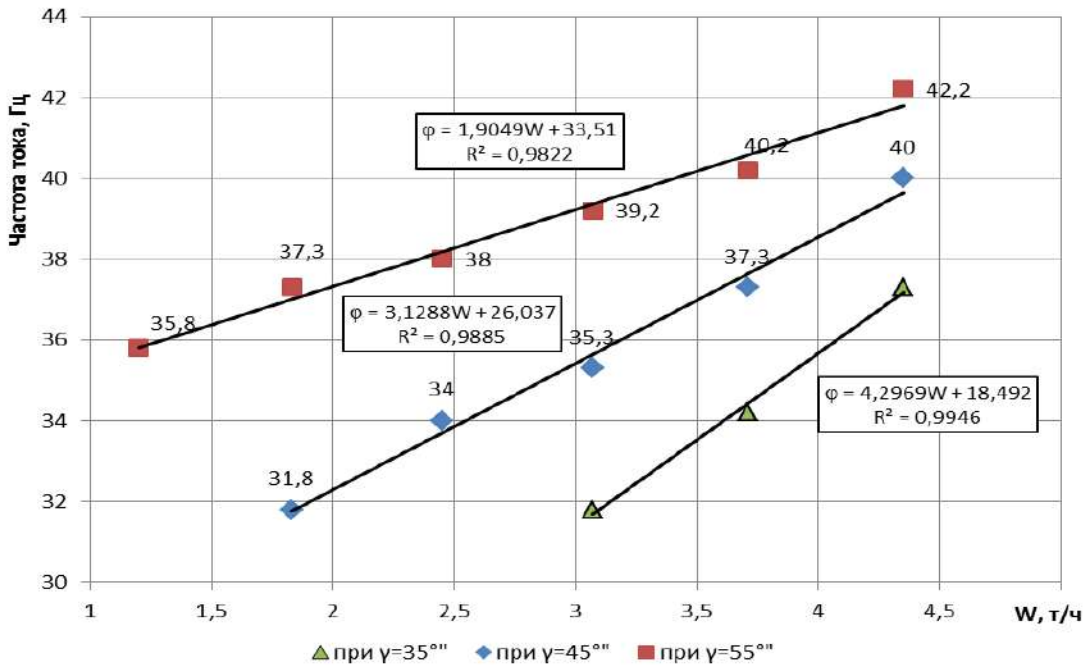


Рисунок 1 – Взаимосвязь частоты тока (φ) с подачей зерна (W) при оптимальных скоростных режимах работы триера

Показатели качества работы триера во взаимосвязи с режимами (n и W) при различных настройках выводного лотка $\gamma_п$ представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что настройка выводного лотка триера на $\gamma_п$ = 55° позволяет обеспечить приемлемый уровень качества работы триера во всем диапазоне изменения подач (W): $l_к$ = 84-100% полной длины ячеистого цилиндра ($L_ц$); технологические потери ($П$ = 0,66-2,63%) находятся на приемлемом уровне.

Таблица 2 – Взаимосвязь $l_к$ и $П$ с n и W при $\gamma_п$ = 35; 45 и 55°

Положение лотка ($\gamma_п$), град	Положение шибера	***Подача зерна (W), т/ч***	Частота вращения цилиндра (n), об/мин	***Частота тока, (φ), Гц***	Длина клина ($l_к$), см	Потери ($П$), %
35	5	***3,07***	30	***31,8***	200	0,39
35	6	***3,71***	32	***34,2***	215	0,49
35	7	***4,35***	35	***37,3***	200	0,52
45	3	***1,83***	30	***31,8***	225	0,98
45	4	***2,45***	32	***34,0***	220	0,83
45	5	***3,07***	33	***35,3***	220	0,82
45	6	***3,71***	35	***37,3***	215	0,49
45	7	***4,35***	38	***40,0***	195	0,5
55	2	***1,2***	34	***35,8***	225	2,63
55	3	***1,83***	35	***37,3***	190	0,98
55	4	***2,45***	36	***38,0***	220	1,13
55	5	***3,07***	37	***39,2***	210	0,82
55	6	***3,71***	38	***40,2***	215	0,87
55	7	***4,35***	40	***42,2***	215	0,66

На минимальной подаче (W = 1,2 т/ч) технологические потери несколько выше, чем при W = 1,83-4,35 т/ч. Однако полученное значение $П$ = 2,63% в 1,9 раз ниже допуска по технологическим потерям в сравнении с триером Р1-ББТ-700-8 (например), который выпускает предприятие АО «Мельинвест» (г. Нижний Новгород). В триерах с запасом номинальной производительности (например – БТ-8 и БТ-12, выпускаемых НПФ «Агромаш» в Новосибирской области) при снижении загрузки (W) часть ячеистой поверхности ($L_ц$ = 2,29-3,0 м) остается свободной, что создает риски увеличения остаточной засоренности зерна.

Из таблицы 1 следует, что при $\gamma_п$ = 55° диапазон подач зерна W = 1,2-4,35 т/ч обеспечивается приращением скоростного режима работы триера при повороте ручки резистора на угол:

$$\Delta\beta_{\Sigma} = \sum_{1}^{5} \Delta\beta_i = 199,7 - 172,1 = 27,6 \text{ град.} \quad (1)$$

Диапазон подач зерна в триер W = 1,2-4,35 т/ч обеспечивается при повороте вала клапанов на угол:

$$\Delta\alpha_{\Sigma} = \sum_{1}^{5} \Delta\alpha_i = 54,7 - 35,75 \approx 19 \text{ град.} \quad (2)$$

Характер взаимосвязей углов β и α в зоне авторегулирования при различных вариантах аппроксимации представлен на рисунках 2 и 3. Различные аппроксимирующие функции использованы для оценки достоверности формализации фактической взаимосвязи углов β и α с целью возможного упрощения конструкции передаточного механизма.

Из рисунка 2 видно, что достоверность аппроксимации взаимосвязи $\beta = f_1(\alpha)$ достаточно высокая для того, чтобы ее воспроизвести передаточным механизмом и рассчитывать на объективную корректировку скоростного режима (n) работы триера в зависимости от подачи (W) зерна в триер. Однако, полином второй степени позволяет с большей достоверностью аппроксимировать функцию $\beta = f_2(\alpha)$, рисунок 3. Необходимость воспроизведения функции $\beta = f_2(\alpha)$ передаточным механизмом, когда отклик авторегулируемой системы управления скоростным режимом будет более точным, продиктована высокой чувствительностью к нему результативных показателей ($З_о$, $П$).

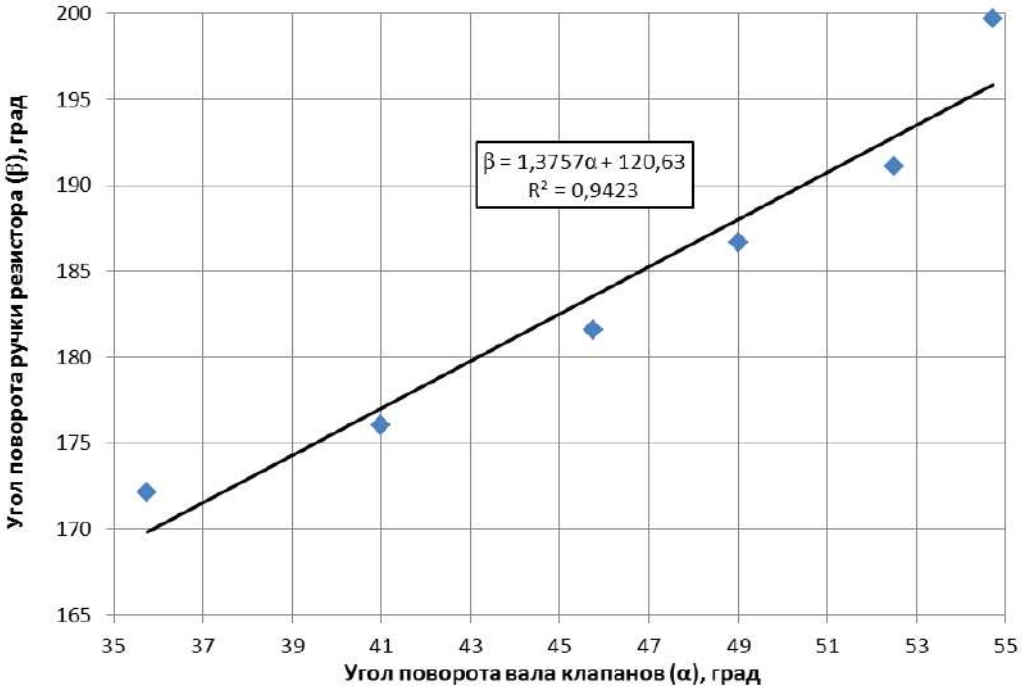


Рисунок 2 – Взаимосвязь углов поворота ручки переменного резистора и вала клапанов при линейной аппроксимации

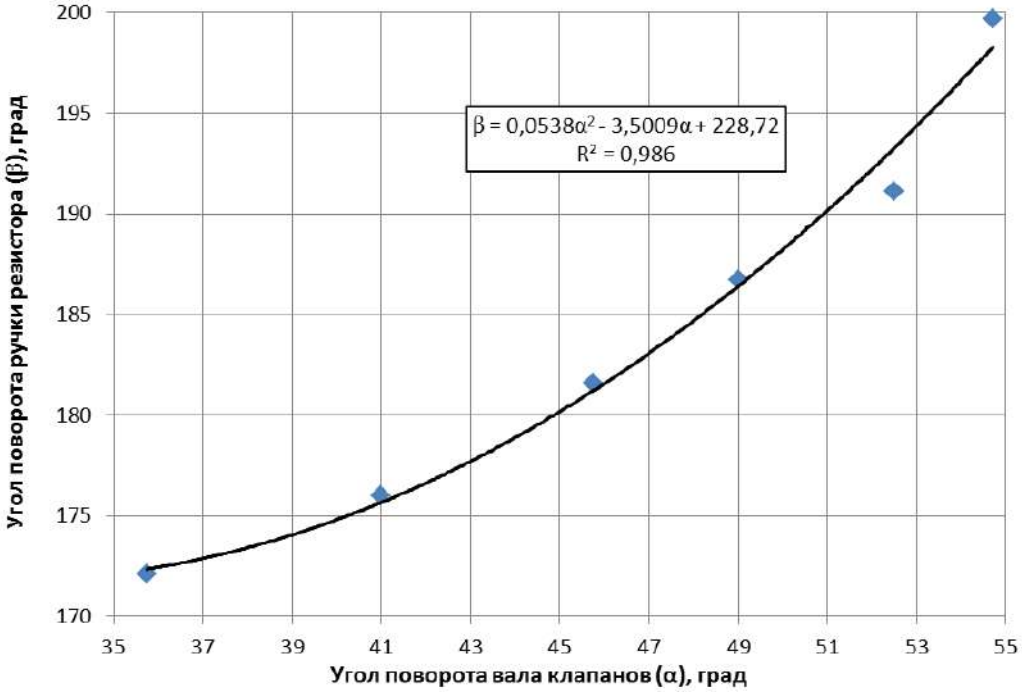


Рисунок 3– Взаимосвязь углов поворота ручки переменного резистора и вала клапанов при аппроксимации полиномом 2-ой степени

Анализ функции $\beta = f_2(\alpha)$ показывает, что ее первая производная $f_2^{/} = d\beta / d\alpha$ постоянно возрастает. Это подтверждается данными таблицы 1, откуда видно, что при интервальном изменении W приращение углов $\sum_1^5 \Delta\beta_i$ опережает приращение углов $\sum_1^5 \Delta\alpha_i$. Расчеты показывают, что соотношение суммарных приращений составляет:

$$\sum_1^5 \Delta\beta_i / \sum_1^5 \Delta\alpha_i = 1,456. \quad (3)$$

Для анализа и формализации изменения соотношений во всем диапазоне поворота управляемого и управляющего звеньев принято:

$$(\Delta\beta_i / \Delta\alpha_i)_{\min} = 1,4. \quad (4)$$

Кроме того, для обоснования передаточного механизма необходимо принять во внимание следующие предпосылки:

− перед началом подачи зерна в триер он включен на оптимальный скоростной режим для $W = W_{\min} = 1,2$ т/ч → $n_{опт} = 34$ об/мин при $\gamma_п = 55°$;

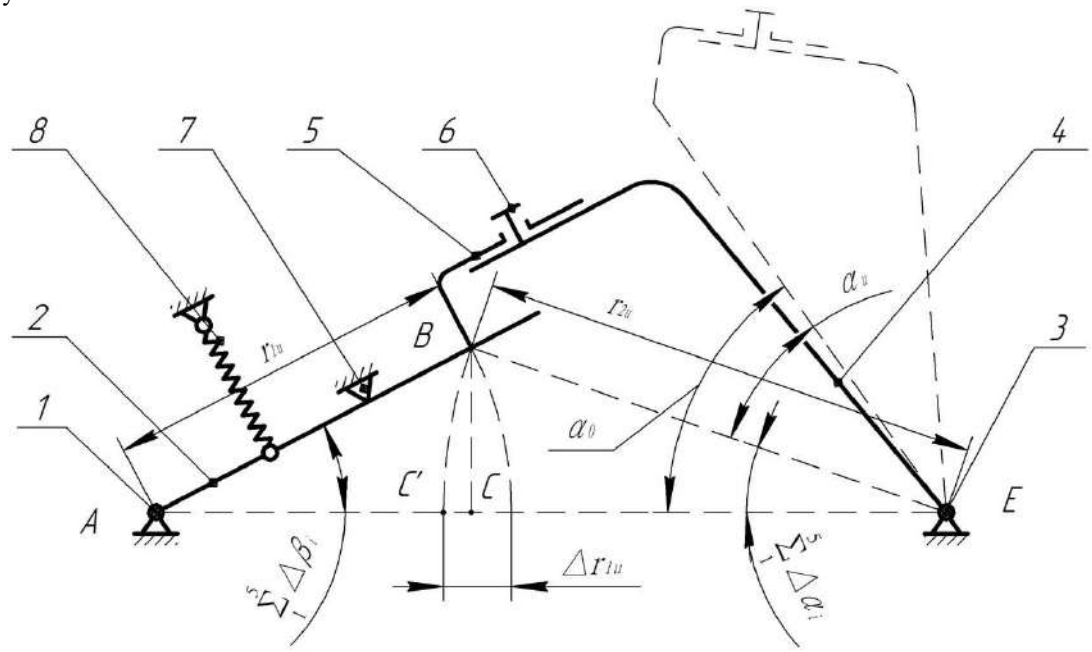
− величина минимальной подачи ($W = 1,2$ т/ч) обеспечивается при повороте вала клапанов на угол $\chi = 35,75°$;

− при этом ручка поворота резистора повернута на угол 172,1 град (получено опытным путем), при котором частотный преобразователь подает на привод частоту тока $\varphi = 37,5$ Гц;

− в повернутом на 172,1° ручка резистора расположена поворотным рычагом (управляемым звеном) под углом 27,6° к горизонту и удерживается в этом положении возвратной пружиной на регулируемом упоре;

− поворотный рычаг, закрепленный на клапанном валу и выполняющий роль управляющего звена, установлен под углом к горизонту: $\alpha_о = \chi + \sum_{1}^{5} \Delta\alpha_i = 35{,}75 + 19 = 54{,}75°$;

− по мере наполнения стабилизирующей емкости регулятора [18] зерном клапанный вал с управляющим звеном поворачивается на угол 35,75° и приходит в контакт с управляемым звеном, рисунок 4.



1 – ручка резистора; 2 – управляемое звено; 3 – вал клапанов регулятора; 4 – управляющее звено;
5 – копир; 6 – фиксатор; 7 – ограничитель; 8 – возвратная пружина
Рисунок 4 – Расчетная схема передаточного механизма

Передаточный механизм работает следующим образом. Управляемое звено 2, закрепленное на ручке резистора 1, устанавливается в исходном положении ($\Delta\beta_\Sigma = 27{,}6°$), прижимаясь возвратной пружиной 8 к фиксатору 7. Управляющее звено 4 закреплено на валу клапана регулятора 3 в исходном положении ($\alpha_о = 54{,}75°$), когда стабилизирующая емкость регулятора имеет нулевое смещение по высоте, поворот вала клапанов при этом также имеет нулевое значение, а клапаны в отводах расположены горизонтально. В исходном положении управляемое звено 2 соответствует положению ручки резистора, повернутой на 172,1°, при котором обеспечивается оптимальный скоростной режим (n = 34 об/мин) работы триера при W = 1,2 т/ч и $\gamma_п = 55°$. С момента включения подачи зерна в стабилизирующую емкость регулятора (по мере ее накопления) управляющее звено 2, закрепленное на валу клапанов регулятора 3, начинает вместе с ним поворачиваться против часовой стрелки. После его поворота на угол $\alpha_и = 35{,}75°$, который обеспечивает живое сечение в отводе регулятора, достаточное для подачи W = 1,2 т/ч (минимальной подачи). В этот момент копир 5 управляющего звена 4 начинает контактировать (точка B) с управляемым звеном 2. С ростом подачи в диапазоне W = 1,2-4,35 т/ч управляющее звено 4 поворачивается дополнительно на угол $\Delta\alpha_\Sigma = 19°$, а управляемое звено 2 – на 27,6°, обеспечивая корректировку скоростного режима (n) работы триера.

В момент контакта копира 5 управляющего звена 4 с управляемым звеном 2 в точке B исходное передаточное соотношение составляет (оно обосновано выше):

$$n_и = r_{2и} / r_{1и} = 1{,}4. \quad (5)$$

При этом исходные линейные параметры звеньев передаточного механизма выбраны следующими:

$$r_{1и} = AB = 50 \text{ мм}; \; r_{2и} = BE = 70 \text{ мм}. \quad (6)$$

Расстояние (AE) между ручкой резистора 1 и валом клапанов регулятора 3 будет:

$$AE = AC + CE = 50 \text{ x } \cos 27{,}6° + 70 \text{ x } \cos 19° = 44 + 66 = 110 \text{ мм}. \quad (7)$$

Проверку обоснованности выбранных линейных размеров звеньев (AB и BE) передаточного механизма возможно произвести по расчетному значению угла $\alpha_р$ и его сравнению с заданными $\sum_{1}^{S} \Delta\alpha_i$ = 19°. Для этого определим величину:

$$BC = AB \text{ x } \sin 27{,}6° = 50 \text{ x } 0{,}46 = 23 \text{ мм}. \quad (8)$$

Тогда расчетное значение:

$$\alpha_р = arcsin\,(BC/BE) = arcsin\,(23/70) = 19{,}14° \approx 19°. \quad (9)$$

С учетом (9) выбор линейных размеров (AB и BE) следует считать обоснованным.

Для оценки передаточных соотношений во всем диапазоне корректировки скоростного режима работы триера необходимо определить величину «угона» управляемого звена 2 при его скользящем контакте с управляющим звеном 4:

$$\Delta r_{1и} = r_{1и} - AC^{/} = r_{1и} - (AE - r_{2и}) = 50 - (110 - 70) = 10 \text{ мм}. \quad (10)$$

Тогда величина конечного передаточного соотношения будет:

$$n_к = r_{2и} / (r_{1и} - \Delta r_{1и}) = 70 / (50 - 10) = 1{,}75 \quad (11)$$

По обоснованным выше параметрам был разработан и изготовлен передаточный механизм, рисунок 5.

Рисунок 5 – Общий вид передаточного механизма системы авторегулируемого управления работой триера

Выводы. В качестве управляющего воздействия следует выбирать угол поворота вала клапанов регулятора, который имеет высокую корреляционную связь с подачей. Соотношение длин управляемого и управляющего поворотных звеньев передаточного механизма, изменяемое в диапазоне 1,4 – 1,75 при скользящем контакте между ними, обеспечивает качественную корректировку скоростного режима работы триера по изменяемой подаче зерносмеси – среднее отклонение воспроизводимых режимов работы в автоматическом режиме не превышает 1,2% от оптимальных значений.

Список литературы

1. Тарасенко, А.П. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зерна / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова, И.В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. – Вып. 3(22). – С. 22-25.

2. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке /А.П. Тарасенко [и др] // Вестник аграрной науки Дона. − 2019. − № 1(45). – С. 63-68.

3. Полетаев, С.В. Триеры / С.В. Полетаев. – М.: Л.: Госкомиздат, 1932. – 95 с.

4. Тишанинов, Н.П. Модернизация импортных зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 12-18.

5. Федоренко, В.Ф. Зерноочистка – состояние и перспективы. / В.Ф. Федоренко, Е.П. Ревякин – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2006. – 204 с.

6. Завражнов, А.И. Модернизация технологии подработки зерна путем применения авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов / Научно-теоретический журнал – «Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук». − № 3. – 2008. – С. 56-59.

7. Анашкин, А.В. Взаимосвязь параметров зернового слоя в овсюжном цилиндре с подачей зерносмеси / А.В. Анашкин / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии, и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23-24 сентября 2015г.– Тамбов: Из-во Першина Р.В., 2015. – С. 96-99.

8. Тишанинов, К.Н. Результаты исследования качества разделения потока сыпучих материалов / К.Н. Тишанинов / Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сб. научных трудов ГНУ ВИИТиН, вып. 7. – Тамбов. – 2005. – С. 56-62.

9. Тишанинов, К.Н. Методика исследования процесса разделения потока сыпучих материалов / К.Н. Тишанинов / Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сб. научных трудов ГНУ ВИИТиН, вып. 7. – Тамбов. – 2005. – С. 46-55.

10. Тишанинов, К.Н. Результаты исследования соотношения расходов и диапазонов стабилизирующих высот сыпучего материала в регулирующей подвижной емкости / К.Н. Тишанинов / Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сб. научных трудов ГНУ ВИИТиН, вып. 13. – Тамбов. – 2007. – С.101-113.

11. Тишанинов, Н.П. Новые резервы управления качеством очистки зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы международной научно-технической конференции, Минск, 2013, Том 1. − С. 266-272.

12. Тишанинов, Н.П. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 30-36.

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

14. Патент РФ № 2737754. Триер / Тишанинов Н.П. – Заявка № 2020121894 от 26.06.2020; опубл.: 26.06.2020, Бюл. № 34.

15. Тишанинов, Н.П. Параметры работы триера при минимальном угле подъема кромки выводного лотка / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Наука в центральной России. – 2021. – № 5 (53). – С. 5-12.

16. Тишанинов, Н.П. Результаты поисковых исследований триера с авторегулируемым управлением / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Наука в центральной России. – 2021. – № 5 (53). – С. 12-18.

17. Тишанинов, Н.П. Обеспечение качества триерной очистки зерна за счет авторегулирования режимов работы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4(56). – С. 67-75.

18. . Патент РФ № 2341954. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Завражнов А.И., Тишанинов К.Н. – Заявка № 2006146774 от 26.12.2006; опубл.: 27.12.2008, Бюл. № 36.

References

1. Tarasenko, A.P. Sovershenstvovanie tekhnologii posleuborochnoj obrabotki zerna / A.P. Tarasenko, M.E. Merchalova, I.V. Baskakov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – Vyp. 3(22). – S. 22-25.

2. Tarasenko, A.P. Snizhenie travmirovaniya zerna pri posleuborochnoj obrabotke /A.P. Tarasenko [i dr] // Vestnik agrarnoj nauki Dona. − 2019. − № 1(45). – S. 63-68.

3. Poletaev, S.V. Triery / S.V. Poletaev. – M.: L.: Goskomizdat, 1932. – 95 s.

4. Tishaninov, N.P. Modernizaciya importnyh zernoochistitel'nyh tekhnologij / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 4 (40). – S. 12-18.

5. Fedorenko, V.F. Zernoochistka – sostoyanie i perspektivy. / V.F. Fedorenko, E.P. Revyakin – M.: FGNU «Rosinformagrotekh». – 2006. – 204 s.

6. Zavrazhnov, A.I. Modernizaciya tekhnologii podrabotki zerna putem primeneniya avtoreguliruemyh delitelej potoka sypuchih materialov / A.I. Zavrazhnov, K.N. Tishaninov / Nauchno-teoreticheskij zhurnal – «Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk». − № 3. – 2008. – S. 56-59.

7. Anashkin, A.V. Vzaimosvyaz' parametrov zernovogo sloya v ovsyuzhnom cilindre s podachej zernosmesi / A.V. Anashkin / Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii – novye tekhnologii, i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva: Sbornik nauchnyh dokladov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 23-24 sentyabrya 2015g.– Tambov: Iz-vo Pershina R.V., 2015. – S. 96-99.

8. Tishaninov, K.N. Rezul'taty issledovaniya kachestva razdeleniya potoka sypuchih materialov / K.N. Tishaninov / Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Sb. nauchnyh trudov GNU VIITiN, vyp. 7. – Tambov. – 2005. – S. 56-62.

9. Tishaninov, K.N. Metodika issledovaniya processa razdeleniya potoka sypuchih materialov / K.N. Tishaninov / Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Sb. nauchnyh trudov GNU VIITiN, vyp. 7. – Tambov. – 2005. – S. 46-55.

10. Tishaninov, K.N. Rezul'taty issledovaniya sootnosheniya raskhodov i diapazonov stabiliziruyushchih vysot sypuchego materiala v reguliruyushchej podvizhnoj emkosti / K.N. Tishaninov / Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Sb. nauchnyh trudov GNU VIITiN, vyp. 13. – Tambov. – 2007. – S.101-113.

11. Tishaninov, N.P. Novye rezervy upravleniya kachestvom ochistki zerna / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin / Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, Minsk, 2013, Tom 1. − S. 266-272.

12. Tishaninov, N.P. Novye deliteli potoka sypuchih materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 1. – S. 30-36.

13. Tishaninov, N.P. Mnogokanal'nye deliteli potoka zerna / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Sel'skij mekhanizator. – 2015. – № 8. – S. 40.

14. Patent RF № 2737754. Trier / Tishaninov N.P. – Zayavka № 2020121894 ot 26.06.2020; opubl.: 26.06.2020, Byul. № 34.

15. Tishaninov, N.P. Parametry raboty triera pri minimal'nom ugle pod"ema kromki vyvodnogo lotka / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, S.V. Emel'yanovich // Nauka v central'noj Rossii. – 2021. – № 5 (53). – S. 5-12.

16. Tishaninov, N.P. Rezul'taty poiskovyh issledovanij triera s avtoreguliruemym upravleniem / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, S.V. Emel'yanovich // Nauka v central'noj Rossii. – 2021. – № 5 (53). – S. 12-18.

17. Tishaninov, N.P. Obespechenie kachestva triernoj ochistki zerna za schet avtoregulirovaniya rezhimov raboty / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, S.V. Emel'yanovich // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. – 2021. – № 4(56). – S. 67-75.

18. Patent RF № 2341954. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov / Zavrazhnov A.I., Tishaninov K.N. – Zayavka № 2006146774 ot 26.12.2006; opubl.: 27.12.2008, Byul. № 36.

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», г. Тамбов, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

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

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolaj Petrovich – doktor tekhnicheskih nauk, professor, glavnyj nauchnyj sotrudnik Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve», g. Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Emel'yanovich Sergej Vladimirovich – mladshij nauchnyj sotrudnik Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve», g. Tambov, e-mail: seruvarovo@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 04.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 06.03.2022

УДК 621
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-51-60

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АПК

[1]Зорин Александр Сергеевич
[1,2,3]Родионов Юрий Викторович
[1,2,3]Никитин Дмитрий Вячеславович
[3]Скоморохова Анастасия Игоревн

[1]ООО «Техлайн», г. Тамбов
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Реферат. *Задачи прототипирования с помощью трехмерной печати актуальны для нужд АПК, где требуется постоянная модернизация существующего оборудования и разработка новых конструкций, способствующих повышению производительности. Рассмотрена печать конструктивных элементов жидкостнокольцевого вакуумного насоса, который используется в процессах переработки сельскохозяйственного сырья. Изготовление прототипов конструктивных элементов одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялось на 3D принтере Flying bear ghost 5 (рис. 1) посредством технологии FDM. Определен наиболее оптимальный набор параметров печати методом моделирования послойным наплавлением. Выбранные режимы обеспечивают требуемые качественные показатели прототипа жидкостнокольцевого вакуумного насоса. Рассматриваются следующие параметры: высота слоя, температуры сопла экструдера и рабочего стола, обдув в процессе печати, скорость, процент заполнения и необходимость поддержек. Проведен анализ влияния каждого из параметров на характеристики готового изделия. Установлено, что для получения данных конструктивных элементов без серьезных дефектов при минимальном расходе материала и*

наименьшем времени печати, необходимы: высота каждого слоя 0,2 мм; температура сопла экструдера 230 ºС; температура рабочего стола 100ºС; скорость печати 60 мм/с; процент заполнения модели 25%. Также для лучшего качества прототипов использовался постоянный обдув и применялись поддержки в местах, где модель имеет значительные выступы. Изготовленные прототипы позволяют оценить конструктивные особенности разрабатываемого жидкостнокольцевого вакуумного насоса и провести простейшие испытания на его работоспособность с целью дальнейшего устранения выявленных недостатков сборной конструкции.

Ключевые слова: *полимерные материалы, аддитивные технологии, параметры трехмерной печати, жидкостнокольцевой вакуумный насос.*

ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING PARTS OF A LIQUID RING VACUUM PUMP FOR AIC PROCESSES

[1]Zorin Alexander
[1,2,3]Rodionov Yuri
[1,2,3]Nikitin Dmitry
[3]Skomorokhova Anastasia

[1]LLC "Techline"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract. *The tasks of prototyping using 3D printing are relevant for the needs of the agro-industrial complex, where constant modernization of existing equipment and the development of new designs that increase productivity are required. The printing of structural elements of a liquid ring vacuum pump, which is used in the processing of agricultural raw materials, is considered. Prototypes of structural elements of a single-stage liquid ring vacuum pump were manufactured on a Flying bear ghost 5 3D printer (Fig. 1) using FDM technology.The most optimal set of printing parameters was determined by the method of layer-by-layer deposition modeling. The selected modes provide the required quality indicators of the liquid ring vacuum pump prototype. The following parameters are considered: layer height, extruder nozzle and desktop temperatures, airflow during printing, speed, infill percentage and the need for supports. The analysis of the influence of each of the parameters on the characteristics of the finished product was carried out. It has been established that in order to obtain these structural elements without serious defects with a minimum consumption of material and the shortest printing time, it is necessary: the height of each layer is 0.2 mm; extruder nozzle temperature 230 ºC; desktop temperature 100ºC; print speed 60 mm/s; the percentage of filling the model is 25%. Also, for the best quality of the prototypes, constant airflow was used and supports were used in places where the model has significant protrusions. The manufactured prototypes allow evaluating the design features of the developed liquid ring vacuum pump and conducting simple tests for its performance in order to further eliminate the identified shortcomings of the prefabricated structure.*

Keywords: *polymeric materials, additive technologies, 3D printing parameters, liquid ring vacuum pump.*

Введение. Производство высокофункциональных изделий при наименьших затратах – основная задача, которая стоит перед инженерами при проектировании деталей и разработке технологических маршрутов их изготовления. В этой связи актуально проведение исследований по поиску новых материалов и усовершенствованию существующих, проведение работ по оптимизации конструкций, а также применение новых подходов к созданию различных деталей. Для этих целей зачастую используется прототипирование. Попимо оценки функциональных свойств и подбора оптимальных параметров конструкции, создание прототипов позволяет подобрать подходящее исполнение или может использоваться для представления продукта целевой аудитории.

Прототипирование при разработке деталей механизмов и машин также целесообразно использовать в агропромышленном комплексе (АПК). Создание прототипов новой продукции позволит сократить затраты на изготовление изделий, по тем или иным причинам неудовлетворяющих заявленным требованиям, что существенно повысит конкурентноспособность производства.

В частности, актуальным представляется внедрение методов быстрого прототипирования при разработке конструкций жидкостнокольцевых вакуумных насосов (ЖВН), которые находят применение в процессах переработки сельскохозяйственного сырья и для транспортирования различных материалов [1-6]. В зависимости от целевого назначения, к проектируемым моделям насосов предъявляются различные требования по точности и сложности, входящих в них узлов, что усложняет задачу изготовления пробных образцов для проведения испытаний, оценки технологичности деталей и усовершенствования сборной конструкции.

Когда необходимо получить сложные конфигурации с высокой точностью, традиционные подходы к созданию реальных моделей достаточно трудоемки и дорогостоящи, к тому же требуют разработки и изготовления дополнительной остнастки и различных интрументов. В этой связи при создании физических объектов применяют технологии быстрого прототипирования, основанные на трехмерной печати.

Трехмерная печать, в отличие от классической механической обработки, осуществляется путем добавления материала, поэтому получила название аддитивного производства. С практической точки зрения представляет интерес возможность менять различные характеристики изготавливаемой продукции (прочность, жесткость, вес и др.) путем варьирования параметрами печати.

Создание прототипов состоит из двух основных этапов:

- разработка трехмерной модели изделия;
- печать изделия по выбранной технологии.

После печати полученный прототип проходит различные испытания на соответствие предъявляемым к нему требованиям (дизайн, эргономичность, правильность форм, качество соединительных элементов, практичность и т.д.). Кроме того, быстрое прототипирование может применяться для изготовления литейных форм, электроэрозионного инструмента и др. с целью их дальнейшего применения в производстве. Однако, необходимо учитывать, что, в зависимости от материала и применяемой технологии печати, может значительно изменяться прочность изделий, цена и время изготовления, качество поверхности и другие важные характеристики.

Основные преимущества такого подхода к созданию прототипов заключаются в [7]:

- значительном сокращении времени технический подготовки к производству новых изделий;
- высокой степени автоматизации процесса;
- уменьшении количества отходов и, как следствие, экономии материала;
- повышении гибкости и конкурентоспособности производства ввиду отсутствия необходимости в переналадке оборудования под выпуск новой продукции.

Важным этапом является выбор технологии аддитивного производства и назначение параметров печати, что определяет качественные показатели изготовляемой модели.

Наиболее распространенными технологиями трехмерной печати, применяемыми при создании прототипов, являются [8]:

- лазерная стереолитография– Stereolithography (SLA);
- отверждение на твердом основании –Solid Ground Curing (SGC);
- моделирование послойным наплавлением – Fused Deposition Modelig (FDM);
- распыление термопластов – Ballistic Particle Manufacturing (BPM);
- лазерное спекание порошков – Selective Laser Sintering (SLS);
- моделирование при помощи склейки – Laminated Object Modeling (LOM).

Наиболее оптимальные параметры трехмерной печати определяются опытным путем в зависимости от целевого назначения модели, что обуславливает актуальность проведения исследований в области аддитивного производства.

Целью статьи является изготовление прототипов деталей, входящих в конструкцию жидкостнокольцевого вакуумного насоса, использующегося в различных процессах АПК, и определение наиболее подходящих параметров печати.

Материалы и методы. Для изготовления деталей посредством 3D-печати необходимо определение значимых характеристик прототипа, изучение свойств используемого материала и исследование параметров процесса печати, определяющих качество готового изделия. Подробное описание важных конструктивных и эксплуатационных характеристик ЖВН, определяющих область его использования, приводится в литературе [9-11]. Зависимость свойств материала от параметров печати изучается авторами работ [12-14]. Особенности различных технологий аддитивного производства описывается в работах [15-17].

Изготовление прототипов конструктивных элементов одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялось на 3D принтере Flying bear ghost 5 (рис. 1) посредством технологии FDM. В ней для печати слоев объекта используется непрерывная нить из термопластичного полимера. Нить нагревается в сопле до полужидкого состояния, а затем подается на платформу или поверх ранее напечатанных слоев. Для этого метода термопластичность полимерного волокна является важным свойством, которое позволяет волокнам сплавляться вместе во время печати, а затем они затвердевают при комнатной температуре [18]. Преимущества данной технологии для задач прототипирования заключаются в доступности оборудования и низкой стоимости материалов, используемых при печати [19].

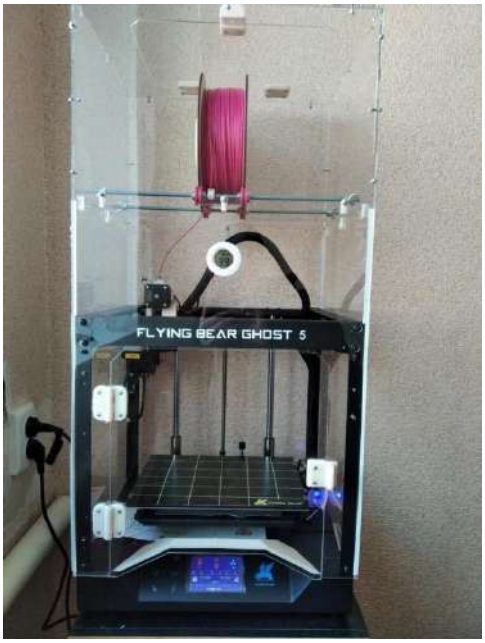


Рисунок 1 – 3D принтер Flying bear ghost 5

Показанный на рис. 1 3D принтер имеет прозрачный защитный корпус, который был спроектирован и изготовлен с целью исключения влияния внешних факторов на процесс печати и защиты материала от гигроскопичности. Также была модернизирована катушка для более плавной подачи пластика в экструдер.

Печать элементов жидкостнокольцевого вакуумного насоса осуществлялась из АБС-пластика, отличающегося влагостойкостью и широким диапазоном эксплуатационных температур, легко поддается дополнительной механической обработке и покраске, устойчивостью к различным химическим веществам (за исключением ацетона). АБС-пластик обладает следующими основными характеристиками [20]:

- температура плавления: 210 °C;
- температура размягчения: 100 °C;
- эксплуатационные температуры: -40…+80 °C;
- температура стеклования: 105 °C;

- относительное удлинение при разрыве: 6%;
- прочность на изгиб: 41 МПа;
- прочность на разрыв: 22 МПа;
- плотность: 1,1 г/см³;
- усадка при изготовлении изделий: 0,8%.

Однако данный пластик имеет недостатки, обусловленные его деформацией в процессе печати при контакте с поверхностью построения. Частично устранить эту проблему можно посредством нагрева рабочего стола и своевременным охлаждением за счет обдува модели. Кроме того, следует избегать прямого попадания солнечных лучей на изделия из АБС-пластика, так как он склонен разрушаться под их воздействием.

Для подготовки 3D-печати использовалось программное обеспечение UltimakerCura 4.12.1 (рис. 2), предназначенного для разбиения трехмерной модели на слои и создания G-кода, который отправляется на принтер. Разработка трехмерных моделей элементов насоса выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, после чего геометрия экспортировалась в стандартный формат .stl, используемый для создания управляющей программы.

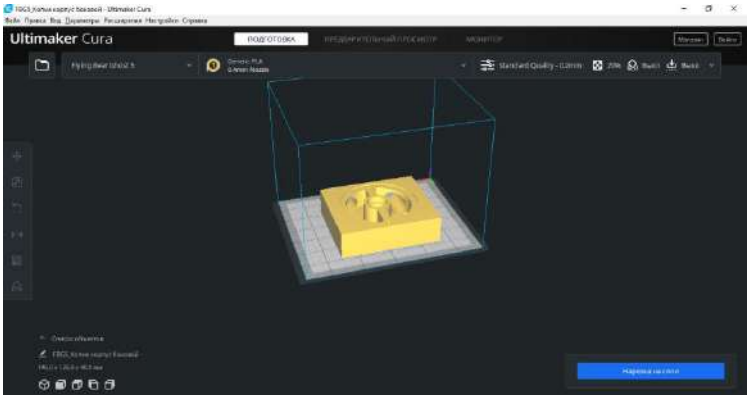


Рисунок 2 – Формирование модели в Ultimaker Cura 4.12.1

Результаты и их обсуждение. Среди наиболее важных параметров FDM печати, оказывающих значительное влияние на качество готового изделия, можно выделить: высоту слоя, температуры сопла и рабочего стола, обдув в процессе печати, скорость, процент заполнения и наличие поддержек.

Для печати представленных моделей высоту каждого слоя задавали равной 0,2 мм. С уменьшением этого параметра поверхность становится более гладкой, слоистость не так заметна, однако возрастает время печати. Ее оптимальная величина зависит от диаметра наконечника сопла экструдера и используемого для печати материала [15].

Температуры сопла экструдера и рабочего стола устанавливали 230 и 100ºС, соответственно. Недостаточная температура стола приводит к плохой адгезии, вследствие чего модель может не зафиксироваться на платформе построения или отсоединиться от нее в процессе печати. Кроме прогрева рабочего стола, решением этой проблемы может быть покрытие платформы раствором клея. Важно отметить, что температурные режимы печати оказывают значительное влияние на усадку материала – при повышении температуры рабочего стола, уменьшаются остаточные деформации модели, однако, как отмечено в исследовании [21], температура стола выше 120 ºС ухудшает адгезию.

Скорость печати составляла 60 мм/с. При недостаточной скорости печати могут возникнуть деформации модели, обусловленные долгим контактом сопла и пластика. Если скорость будет чрезмерно высокой, то будет происходить недостаточное охлаждение и слабая адгезия слоев. В работе [22] также установлено, что при печати ABS-пластиком и температуре сопла 230 ºС

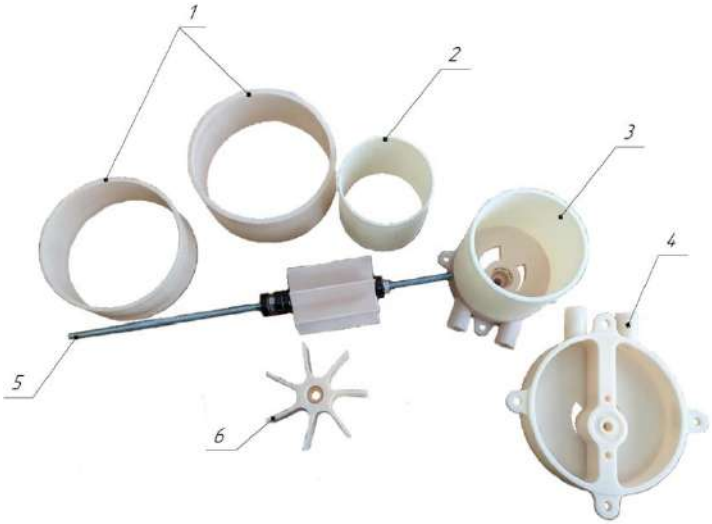
наиболее оптимальная скорость печати составляет 60 мм/с. Однако данный параметр может отличаться для пластика различной марки и характеристик принтера.

Для сохранения качества изделия при печати использовался обдув. Он необходим вследствие того, что разогретый пластик обладает текучестью, и если предыдущий слой не успевает затвердеть, то форма изделия портится. Кроме того, остывший слой может размягчаться вследствие высокой температуры сопла при перемещении экструдера на близком от него расстоянии. Однако необходимо контролировать отсутствие трещин, которые могут быть следствием слишком высокой скорости вентилятора. Также неправильные параметры обдува могут привести к смещению первого слоя печати или появлению дыр на верхнем слое.

Процент заполнения выбирался равным 25%, что обеспечило достаточную прочность прототипов и меньшие затраты на время печати. Данный параметр оказывает непосредственное влияние на массу изделия, его прочность, а также время и стоимость печати, так как изменяется расход материала.

В местах, где модели имеют выступы, которые при печати в процессе послойного добавления материала не поддерживаются материалом конструкции, возникает необходимость внедрения дополнительных опор (поддержек), позволяющих избежать провисания и нежелательных деформаций слоев, «висящих в воздухе». Их наличие увеличивает время печати и расход материала. Кроме того, возникает необходимость выполнения постобработки с риском повреждения модели из-за прилипания структуры поддержек к изделию. Ввиду чего важно уделять внимание минимизации поддержек. Этого можно добиться правильной ориентацией модели при печати, доработкой конструкции детали или изменением структуры поддержек.

Конструктивные элементы жидкостнокольцевого вакуумного насоса, напечатанные с помощью 3D-принтера, представлены на рис. 3.



1 – цилиндрические корпуса; 2 – вращающаяся втулка, 3, 4 – крышки торцовые; 5 – вал в сборе с рабочим колесом; 6 – рабочее колесо

Рисунок 3 – Конструктивные элементы жидкостнокольцевого вакуумного насоса, напечатанные с использованием 3D-принтера

Представленные на рис. 1 детали ЖВН, изготовленные методом FDM, позволяют не только оценить конструктивные особенности насоса, но и провести сборочно-разборочные операции, проверку функциональности, простейшие испытания прототипа на его работоспособность с последующим учётом возможных недостатков при создании моделей, предназначенных для эксплуатации в реальных условиях.

Перспективой дальнейших исследований является изучения возможности печати рабочего колеса ЖВН из полимерного материала, предназначенного для эксплуатации. С целью

обеспечения надежности и выполнения требуемых функций в процессе работы необходимо более подробное изучение изменения свойств материала при аддитивном производстве в зависимости от используемой технологии и назначаемых параметров.

Заключение.

1. Аддитивные технологии открывают новые возможности в области прототипирования. Их внедрение позволяет оценить показатели функциональности различных изделий, в том числе, используемых в АПК, что способствует повышению конкурентоспособности и снижению затрат при производстве новых моделей деталей машин и механизмов.

2. Приведены основные достоинства трехмерной печати, которые отличают ее от традиционных способов получения деталей, основанных на удалении материала.

3. Рассмотрены наиболее значимые параметры процесса печати, которые влияют на качество создаваемых моделей. Для трехмерной печати жидкостнокольцевого вакуумного насоса определены следующие оптимальные значения: высота каждого слоя 0,2 мм; температура сопла экструдера 230 ºС; температура рабочего стола 100ºС; скорость печати 60 мм/с; процент заполнения модели 25%.

4. Напечатаны прототипы конструктивных элементов разрабатываемой модели жидкостнокольцевого вакуумного насоса.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта Фонда содействия инновациям «Разработка жидкостно-кольцевых вакуумных насосов для технологических процессов агропромышленного комплекса» 4128ГС1/68641 от 19.07.2021

Список литературы

1. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review / M. C. Karam, J. Petit, D. Zimmer [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2016. – № 188. – P. 32-49.

2. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12. – № 3-2. – С. 779-784.

3. Vacuum pumps installed on pharmaceutical duty / World Pumps – Vol. 2003. – Issue 439 – P. 14.

4. Родионов Ю.В., Попова И.В., Однолько В.Г. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6 (20). – С. 106-111.

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

6. Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / П.С. Платицин, Ю.В. Родионов, В.П. Капустин, Д.В. Никитин // Наука в центральной России. – 2016. – № 6 (24). – С. 54–65.

7. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 8-2. – С. 210-217.

8. Bhushan B., Caspers M. An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication // Microsystem Technologies. – 2017. – № 23 (4). – P. 1117–1124.

9. Фролов, Е.С. Вакуумная техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова. – М. : Машиностроение, 1985. – 359 с.

10. Иванов, В.И. Вакуумная техника: учеб. пособие / В.И. Иванов. – СПб. : Ун-т ИТМО, 2016. – 129 с.

11. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры / И.А. Райзман – Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 1995. – 258 с.

12. Salim M.A., Termiti Z.H., Saad A.M. Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging Printed Product using 3D Printer Technology // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2019.

13. Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties / H.R. Dana, F. Barbe, L. Delbreilh [et al.] // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – № 44 (6). – P. 288–298.

14. Mohammed M.I., Wilson D. Effect of layer thickness and cross-section geometry on the tensile and compression properties of 3D printed ABS // Materials Today Communications. – 2019. – № 22 (12).

15. Sheoran A., Kumar H. Fused Deposition modeling process parameters optimization and effect on mechanical properties and part quality: Review and reflection on present research // Materials Today: Proceedings. – 2019. – № 21.

16. Improving the Mechanical Strength of Dental Applications and Lattice Structures SLM Processed / C Cosma, J Kessler, A Gebhardt [et al.] // Materials. – 2020. – № 13 (4). – P. 905.

17. Process optimization for directed energy deposition of SS316L components / P.Y. Lin, F.C. Shen, K.T. Wu [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – № 111 (5-6). – P. 1-14.

18. Mohamed O.A. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects // Advances in Manufacturing. – 2015. – № 3 (1). – P. 45-52.

19. Irwin J.L., Pearce J. M., Glover A.G., Anzalone G. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers / B.T. Wittbrodt, J. Laureto, D. Oppliger [et al.] // Elsevier Ltd. – 2013. – Vol. 23 (6). – P. 713–726.

20. Фарниев, А. С. Анализ свойств материалов, используемых в аддитивных технологиях, и особенности их влияния на формирование внутренних резьб / А. С. Фарниев, П. А. Новиков // Вестник современных технологий. – 2020. – № 3(19). – С. 42-46.

21. Influence of Bed Temperature on Heat Shrinkage Shape Error in FDM Additive Manufacturing of the ABS-Engineering Plastic / Y.H. Choi, Ch.-M. Kim, H.-S. Jeong, J.H. Youn // World Journal of Engineering and Technology. – № 04 (03). – P. 186-192.

22. Minimizing warpage of ABS prototypes built with low-cost fused deposition modeling machine using developed closed-chamber and optimal process parameters / C.-C. Kuo, Y.-R. Wu, M.-H. Li, H.-W. Wu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 101 (5-8).

References

1. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review / M. C. Karam, J. Petit, D. Zimmer [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2016. – № 188. – R. 32-49.

2. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Vestn. Tamb. gos. tehn. un-ta. – 2006. – T. 12. – № 3-2. – S. 779-784.

3. Vacuum pumps installed on pharmaceutical duty / World Pumps – Vol. 2003. – Issue 439 – P. 14.

4. Rodionov Ju.V., Popova I.V., Odnol'ko V.G. Obosnovanie vybora vakuumnyh nasosov dlja konvektivnoj vakuumnoj stupeni sushki rastitel'nyh materialov // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Un-t im. V.I. Vernadskogo. – 2009. – № 6 (20). – S. 106-111.

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

6. Osobennosti rascheta tehnologii vakuumnogo transportirovanija suhih sypuchih rastitel'nyh materialov v rezhime sploshnogo sloja / P.S. Platicin, Ju.V. Rodionov, V.P. Kapustin, D.V. Nikitin // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 6 (24). – S. 54–65.

7. Chemodurov A.N. Primenenie additivnyh tehnologij v proizvodstve izdelij mashinostroenija // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2016. – № 8-2. – S. 210-217.

8. Bhushan B., Caspers M. An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication // Microsystem Technologies. – 2017. – № 23 (4). – R. 1117–1124.

9. Frolov, E.S. Vakuumnaja tehnika / E.S. Frolov, V.E. Minajchev, A.T. Aleksandrova. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 359 s.

10. Ivanov, V.I. Vakuumnaja tehnika: ucheb. posobie / V.I. Ivanov. – SPb. : Un-t ITMO, 2016. – 129 s.

11. Rajzman, I.A. Zhidkostnokol'cevye vakuumnye nasosy i kompressory / I.A. Rajzman – Kazan': Kazanskij gos. tehn. un-t, 1995. – 258 s.

12. Salim M.A., Termiti Z.H., Saad A.M. Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging Printed Product using 3D Printer Technology // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2019.

13. Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties / H.R. Dana, F. Barbe, L. Delbreilh [et al.] // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – № 44 (6). – R. 288–298.

14. Mohammed M.I., Wilson D. Effect of layer thickness and cross-section geometry on the tensile and compression properties of 3D printed ABS // Materials Today Communications. – 2019. – № 22 (12).

15. Sheoran A., Kumar H. Fused Deposition modeling process parameters optimization and effect on mechanical properties and part quality: Review and reflection on present research // Materials Today: Proceedings. – 2019. – № 21.

16. Improving the Mechanical Strength of Dental Applications and Lattice Structures SLM Processed / C Cosma, J Kessler, A Gebhardt [et al.] // Materials. – 2020. – № 13 (4). – R. 905.

17. Process optimization for directed energy deposition of SS316L components / P.Y. Lin, F.C. Shen, K.T. Wu [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – № 111 (5-6). – R. 1-14.

18. Mohamed O.A. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects // Advances in Manufacturing. – 2015. – № 3 (1). – R. 45-52.

19. Irwin J.L., Pearce J. M., Glover A.G., Anzalone G. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers / B.T. Wittbrodt, J. Laureto, D. Oppliger [et al.] // Elsevier Ltd. – 2013. – Vol. 23 (6). – P. 713–726.

20. Farniev, A. S. Analiz svojstv materialov, ispol'zuemyh v additivnyh tehnologijah, i osobennosti ih vlijanija na formirovanie vnutrennih rez'b / A. S. Farniev, P. A. Novikov // Vestnik sovremennyh tehnologij. – 2020. – № 3(19). – S. 42-46.

21. Influence of Bed Temperature on Heat Shrinkage Shape Error in FDM Additive Manufacturing of the ABS-Engineering Plastic / Y.H. Choi, Ch.-M. Kim, H.-S. Jeong, J.H. Youn // World Journal of Engineering and Technology. – № 04 (03). – R. 186-192.

22. Minimizing warpage of ABS prototypes built with low-cost fused deposition modeling machine using developed closed-chamber and optimal process parameters / C.-C. Kuo, Y.-R. Wu, M.-H. Li, H.-W. Wu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 101 (5-8).

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Зорин Александр Сергеевич – генеральный директор ООО «Техлайн», Россия, г. Тамбов, e-mail: zorin619@bk.ru.

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

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

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Zorin Alexander – general manager LLC "Techline", Russia, Tambov, email: zorin619@bk.ru.

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

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

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.02.2022

УДК 621.516
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69

АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРИВОДА КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

[1,2]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1,2]Родионов Юрий Викторович
[1]Рыбин Григорий Вячеславович
[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Галкин Павел Александрович
[1]Иванов Олег Олегович

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

Реферат. *Применение вакуумных технологий и оборудования в процессах переработки продукции сельского хозяйства позволяет существенно снизить потери биологически активных веществ и функциональных компонентов в конечном продукте. В работе рассмотрены жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН). Существенным недостатком ЖВН является низкий КПД (порядка 50 %), что обусловлено гидравлическими потерями на трение жидкости о неподвижный корпус насоса и перерасходом мощности на сжатия газовой фазы. Предложена новая конструкция комбинированного ЖВН с кинематическим замыканием и регулируемым нагнетательным окном (ЖВН КМ). Установлено, что конструкция позволяет уменьшить затраты мощности на трение рабочей жидкости о корпус; на начальных режимах работы – минимизировать пересжатие и перетекание газовой фазы из области нагнетания в область всасывания; на предельных режимах работы – обеспечить вытеснение газовой фазы из рабочей полости и исключить эффект «запирания», сопровождаемый дестабилизацией рабочего процесса. Представлен типоразмерный ряд ЖВН КМ для различных технологических процессов. Для ЖВН КМ особо большой быстроты действия предложено осуществлять рабочий процесс посредством вращения корпуса с лопатками через спроектированный привод. Описана схема и методика расчета привода на основании ГОСТов и известных методик расчёта зубчатого зацепления. С целью снижения массогабаритных показателей ЖВН КМ предложено изготавливать детали привода и насоса из полимерных материалов с последующим упрочнением магнито-термическим способом.*

Ключевые слова: *жидкостнокольцевой вакуумный насос, повышение эффективности, механический привод, зубчатая передача, мультипликатор, методика расчета.*

ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE DRIVE OF THE COMBINED DESIGN OF A SINGLE-STAGE LIQUID RING VACUUM PUMP

[1,2]Nikitin Dmitry
[1,2]RodionovYuriy
[1]Rybin Gregory

[1]Voronin Nikolay
[1]Galkin Pavel
[1]Ivanov Oleg

[1]FSBEI HE "Tambov State Technical University"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract. *The use of vacuum technologies and equipment in the processing of agricultural products can significantly reduce the loss of biologically active substances and functional components in the final product. Liquid ring vacuum pumps (LHVN) are considered in the work. A significant disadvantage of the LHVN is its low efficiency (about 50%), which is due to hydraulic losses due to friction of the liquid against the stationary pump casing and excessive power consumption for compressing the gas phase.*

A new design of a combined LHVN with a kinematic lock and an adjustable discharge window (LHVN KM) is proposed. The design allows to reduce the power consumption for the friction of the working fluid against the body; in the initial modes of operation - to minimize over compression and overflow of the gas phase from the injection area to the suction area; at limiting operating modes - to ensure the displacement of the gas phase from the working cavity and eliminate the effect of "locking", accompanied by destabilization of the working process. A standard size range of LHVN KM for various technological processes is presented. For LHVN KM of especially high speed of action, it is proposed to carry out the working process by rotating the body with blades through the designed drive. The scheme and methodology for calculating the drive on the basis of GOSTs and known methods for calculating gearing are described. In order to reduce the weight and size parameters of the LHVN KM, it is proposed to manufacture drive and pump parts from polymeric materials with subsequent hardening by a magneto-thermal method.

Keywords: *liquid ring vacuum pump, efficiency improvement, mechanical drive, gear, multiplier, calculation method.*

Введение. Вакуумная техника с каждым годом получает все более широкое распространение в процессах переработки продукции сельского хозяйства: сушка, экстрагирования и выпаривание. Применение вакуума в указанных процессах позволяет существенно снизить потери биологически активных веществ и функциональных компонентов в конечном продукте (высушенном сырье, экстрактах, концентратах) [1]. Вакуумные системы применяются для перемещения сыпучих и жидких материалов (мука, зерно, молоко, горюче-смазывающие жидкости и пр.). Такие системы обладают рядом преимуществ: снижение травмируемости, перемещаемого сырья, обеспечение требуемых норм взрывобезопасности при транспортировании мелкодисперсных растительных материалов, высокие санитарно-гигиенические условия и отсутствие технологических нарушений воздушной среды [2].

Широкое распространение в качестве самостоятельных откачных средств, а также устройств для создания разрежения в технологических линиях и установках АПК получили жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН). Насосы этого типа способны откачивать газы, содержащие пары и капельную жидкость, работать в условиях загрязнения рабочей жидкости инородными включениями, отсутствие масла в рабочем пространстве позволяет не загрязнять откачиваемый газ парами масла. При этом ЖВН характеризуются простой конструкции, надежностью в эксплуатации и низким уровнем шума.

Вместе с тем существенным недостатком ЖВН является низкий КПД (порядка 50 %), что обусловлено гидравлическими потерями на трение жидкости о неподвижный корпус насоса и перерасходом мощности на сжатия газовой фазы. Снижение этих потерь является одной из важнейших задач в проектировании новых высокоэффективных конструкций ЖВН. Также в существующих трудах недостаточно описываются методики расчета привода ЖВН особо большой быстроты действия.

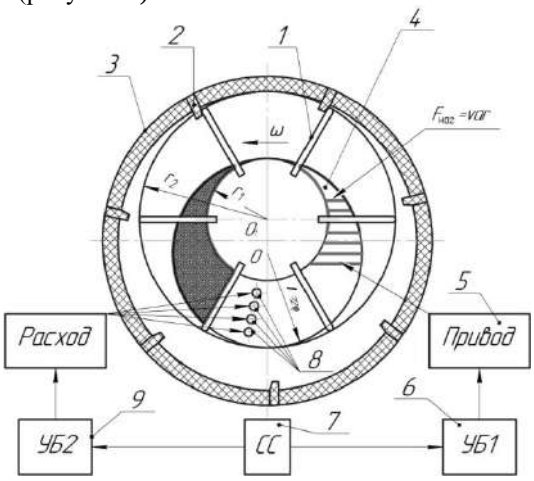
Цель работы: разработка комбинированной конструкции ЖВН и методики расчёта привода для ЖВН особо большой быстроты действия.

Материалы и методы

Проектированием новых конструкций и разработкой методик расчета ЖВН для процессов АПК занимаются российские ученые Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Наумов В.А. [3-5], изучением

и интенсификацией процессов АПК с использованием ЖВН Рудобашта С.П., Дмитриев В.М., Зорин А.С., Иванова И.В., Иванова Е.П. и др. [6-12].

Для снижения гидравлических потерь и мощности на сжатие газовой фазы в ЖВН на кафедре «Механика и инженерная графика» ТГТУ была разработана конструкция комбинированного жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН КМ) с регулируемым нагнетательным окном и кинематическим замыканием (рисунок 1).



1 – Рабочее колесо, 2 – лопатки корпуса, 3 – корпус, 4 - нагнетательное окно, 5 – привод, 6,9 – блоки управления, 7 – система слежения за параметрами рабочего процесса, 8 – штуцеры для подачи дополнительной рабочей жидкости

Рисунок 1 – Принципиальная схема ЖВН КМ

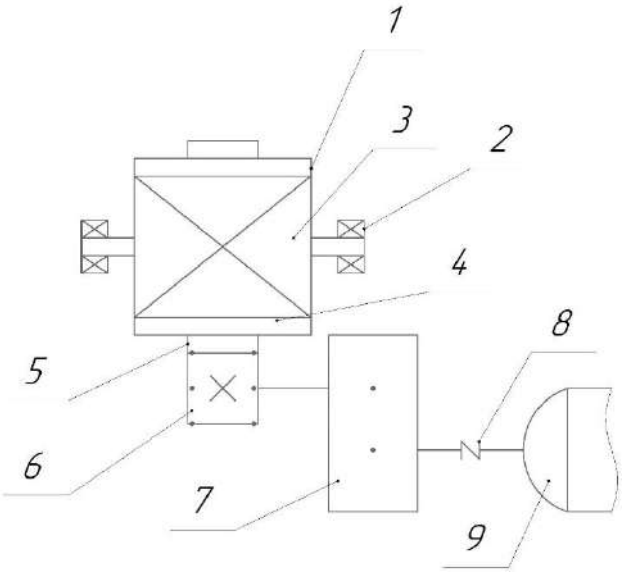
В ЖВН КМ рабочее колесо с лопатками передаёт вращение лопаткам, вращающегося вместе с рабочей жидкостью корпуса, что обеспечивает существенное снижение затрат мощности на трение рабочей жидкости о корпус. Механизм регулирования проходного сечения нагнетательного окна по мере создания вакуума изменяет размер проходного сечения. Это позволяет: на начальных режимах работы вакуум-насоса – исключить пересжатие газовой фазы и перетекание газовой фазы из области нагнетания в область всасывания; на предельных режимах работы насоса – обеспечить вытеснение газовой фазы из рабочей полости и исключить эффект «запирания» вакуумного насоса, сопровождаемый дестабилизацией рабочего процесса. Во всасывающей области расположены штуцеры, через которые подаётся дополнительная рабочая жидкость, с целью снижения перетечек откачиваемого газа из области сжатия в область всасывания.

Для различных технологических процессов АПК разработаны 12 типоразмеров ЖВН КМ (таблица 1). Для ЖВН КМ особо большой быстроты действия (типоразмеры 10,11,12, таблица 1) с целью повышения КПД и снижения потребляемой мощности предложено осуществлять вращение за корпус с помощью механического привода (рисунок 2).

Таблица 1 – Геометрические параметры ЖВН КМ типоразмерного ряда

Быстрота действия S, [м^3/ч]	Малая			Средняя			Большая			Особо большая		
Типо-размер / Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радиус рабочего колеса *r*, мм	45	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
Радиус корпуса *R*, мм	54	96	144	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Эксцентриситет *e*, мм	9	16	24	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Число лопаток на рабочем колесе z_1	7	12	12	15	15	20	20	25	25	30	30	35
Число лопаток на корпусе z_2	6	10	10	12	12	16	16	20	20	24	24	28
Передаточное отношение U_{12}	0,875	0,83(3)	0,83(3)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Относительный эксцентриситет ε	0,16(6)	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25



1 – корпус, 2 – подшипниковые опоры, 3 – лопатки рабочего колеса, 4 – лопатки корпуса, 5 – зубчатое колесо, 6 – шестерня, 7- мультипликатор, 8 – муфта, 9 – асинхронный электродвигатель

Рисунок 2 – Схема привода ЖВН КМ

Схема предлагаемого привода ЖВН КМ состоит из корпуса 1 с лопатки 4 на подшипниковых опорах 2. Корпус с лопатками осуществляет вращение рабочего колеса 3 посредством кинематического замыкания (аналог зубчатого зацепления). Посредством внешнего зацепления прямозубой цилиндрической передачи, состоящей из венца зубчатого колеса 5 и шестерни 6, находящейся на выходном (быстроходном) валу мультипликатора 7, происходит вращения корпуса 1 с лопатками 4. Входной (тихоходный) вал мультипликатора через муфту 8 соединен с асинхронным электродвигателем 9.

Результаты и их обсуждение. Расчет зацепления открытой зубчатой пары в приводе корпуса ЖВН КМ ведется из условия первоначального производства венца. Первоначально задается размер корпуса, на который устанавливается зубчатый венец (наружный диаметр) и передаточное число зацепления U, а также кинематические и динамические характеристики звеньев n_i,- частота вращения [мин$^{-1}$], ω_i– угловая скорость [с$^{-1}$], P_i,- мощность [Вт], T_i,- вращающий момент [Н·м]. Число зубьев Z_1 – шестерни передачи определяется из условия плавности и надежности, принимается равным $Z_1 = 21$.

Делительный диаметр d_2 зубчатого венца определяется как

$$d_2 = d_0 + 6m \quad (1)$$

где d_0– внутренний диаметр венца – наружный диаметр корпуса ЖВН КМ, мм; m – модуль зацепления, мм;

Определим модуль зацепления по формуле:

$$m = \sqrt[3]{\frac{3T_1 K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{FS} Y_{ES}}{(z_1 \psi_m [\sigma_F]}} \quad (2)$$

где $K_{F\alpha}$, $K_{F\beta}$, K_{FS} – коэффициенты расчётной нагрузки в расчётах по напряжениям изгиба; Y_{ES} – коэффициент формы зуба; ψ_m– коэффициент ширины колеса по модулю; σ_F – напряжение в сечении вблизи хорды основной окружности, МПа.

Мелкомодульные колеса с большим числом зубьев предпочтительнее по условию плавности хода передачи (поскольку увеличивается коэффициент торцового перекрытия ε_α) и экономичности [13]. Вместе с тем силовые воздействия оказывают существенное влияние на прочность, что ограничивает применение модуля для передачи кинематического замыкания менее *1,5 мм*, а число зубьев шестерни ограничивается числом *21*, что ранее определило выбор Z_1.

Полученный модуль округляем до стандартного значения. Затем считаем диаметр шестерни зацепления, как

$$d_1 = m \cdot Z_1 \quad (3)$$

Осуществляем проверку звеньев зубчатой пары на допускаемые контактные напряженияσ_H и напряжения перегрузки$\sigma_{\text{H}max}$, как

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{H}max} \leq [\sigma_{Hmax}] \quad (5)$$

где $[\sigma_H]$ – максимальное допускаемое контактное напряжение, МПа;$[\sigma_{\text{H}max}]$ – максимальное напряжение перегрузки, МПа.[14]

Определяем передаточное отношение привода:

$$i_{\text{привода}} = i_{\text{ц.з.п}} \cdot i_{\text{м}} = 1 \quad (6)$$

где $i_{\text{ц.з.п}}$ – передаточное отношение цилиндрической зубчатой передачи, $i_{\text{м}}$ – передаточное отношение мультипликатора.

Определяем d_2 зубчатого венца, как дополнительное условие.

$$d_1 = m \cdot Z_1 \quad (7)$$

$$d_2 = m \cdot Z_2 = d_0 + 5{,}5m \quad (8)$$

где d_0 – внутренний диаметр корпуса.

Определяем потери в кинематической цепи привода ЖВН КМ, т.е. КПД:

$$\eta_0 = \eta_{\text{ЖВН КЗ}} \cdot \eta_{\text{зз}}^{\text{внеш}} \cdot \eta_{\text{мульт}} \cdot \eta_{\text{м}}, \quad (9)$$

где $\eta_{\text{кз}}$ – КПД кинематического замыкания, $\eta_{\text{зз}}^{\text{внеш}}$ – КПД внешнего зубчатого зацепления, $\eta_{\text{мульт}}$ – КПД мультипликатора, $\eta_{\text{м}}$ – КПД муфты.

Определяем мощность электродвигателя:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{ЖВН КМ}}}{\eta_0} \quad (10)$$

где $P_{\text{ЖВН КМ}}$ – мощность ЖВН КМ.

Общее передаточные отношение привода принимаем равным *1*, т.е. передаточное число U_0 = *1*, тогда частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв}} = n_1 \cdot U_0 \quad (11)$$

То есть

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi n_{\text{д}}}{30} \quad (12)$$

$$n_{\text{раб. лоп}} = n_{\text{дв}} \quad (13)$$

Вращающий момент электродвигателя определяем по формуле:

$$T_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{\omega} \quad (14)$$

На основании полученных данных подбираем характеристики стандартного асинхронного электродвигателя [15].

Характеристики *n, ω, P, T* по валам определяем, предварительно подобрав передаточные отношения механизмов

$$U_0 = U_{\text{зз}}^{\text{внутр}} \cdot U_{\text{зз}}^{\text{внеш}} \cdot U_{\text{м}} \quad (15)$$

где $U_{\text{зз}}^{\text{внутр}}$ – передаточное число внутреннего зубчатого зацепления, $U_{\text{зз}}^{\text{внеш}}$ – внешнего зубчатого зацепления, $U_{\text{м}}$ – передаточное число мудьтипликатора.

Из условия $U_0 = 1$ внутреннее зацепление лопаток рабочего колеса о лопатки корпуса рассчитано в зависимости от быстроты действия *S* ЖВН [16].

$U_{\text{зз}}^{\text{внутр}}$определено $U_{\text{зз}} = \alpha$.

Далее определяем мультипликатор по $T_э$, с передаточным числом $U= 0,5 – 0,8$, $U_м = \delta$.

Определяем передаточное число внешней зубчатой открытой передачи с

$$1 = \alpha \cdot c \cdot \delta \quad (16)$$

$$c = \frac{1}{\alpha \cdot \delta} \quad (17)$$

где α – передаточное отношение между лопатками рабочего колеса и лопатками ротора, δ – передаточное отношение мультипликатора.

Находим

$$U_{зуб.зуб.}^{внеш} = c \quad (18)$$

Далее рассчитываем кинематические и динамические характеристики по валам привода по формулам, представленным в таблице 2.

Таблица 2 –Формулы для определения кинематических и динамических характеристик по валам привода

N п/п	Характеристики по валам	Первый вал	Второй вал	Третий вал
1	Мощность, кВт	$P_1 = P_2 \cdot \eta_{ЖВН}$	$P_2 = P_3 \cdot \eta_{з.з}$	$P_з = P_э \cdot \eta_м \cdot \eta_{мульт}$
2	Частота вращения, мин$^{-1}$	$n_1 = \frac{n_2}{U_{з.з}}$	$n_2 = \frac{n_3}{U_{з.з}}$	$n_з = \frac{n_4}{U_{мульт}}$
3	Угловая скорость, с$^{-1}$	$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30}$	$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30}$	$\omega_3 = \frac{\pi n_3}{30}$
4	Крутящий момент, Н·м	$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$	$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2}$	$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3}$

В конце расчёта проверяем динамические и кинематические характеристики на валу ЖВН КМ с рассчитанными параметрами вакуумирования, определенными по методике эффективной мощности вакуумного насоса.

Для снижения массы, стоимости и металлоёмкости всей конструкции предлагается изготавливать некоторые детали, а именно открытую зубчатую передачу и лопатки рабочего колеса, из полимерных материалов, упрочненных посредством магнито-термического внедрения частиц внутрь поверхности изделия полимерного материала [17].

Расчёт лопаток кинематического замыкания осуществляется по условиям прочности зубьев рабочего колеса и корпуса по контактным напряжениям и напряжениям изгиба. При этом должно соблюдаться условие прочности [18].

Заключение. В статье разработана новая конструкция ЖВН КМ и описана методика расчёта привода ЖВН КМ особо большой быстроты действия на основании действующих методик и стандартов расчёта зубчатых зацеплений.

Для улучшения массогабаритных показателей ЖВН КМ предложено изготавливать детали привода и насоса из полимерных материалов с последующим упрочнением магнито-термическим способом.

Список литературы

1. Матвеев Д.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Рыбин Г.В., Данилин С.И. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. - №1. – С. 164-172

2. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов /П.С. Платицин и др. // Научно- теоретический журнал «Инновационная техника и технология». Пенза. 2017. № 1 (10). С.9-15

3. Родионов, Ю.В. Повышение эффективности и эксплуатационных характеристик двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуумнасосов: дис.… канд. техн. наук: 05.04.09: защищена 14.06.00: утв. 10.11.00 / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2000. – 135 с.

4. Никитин, Д.В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: дис. … канд. техн. наук: 05.02.13: защищена 31.10.10: утв. 11.03.2011 / Никитин Дмитрий Вячеславович. – Тамбов, 2010. – 158 с.

5. Наумов, В. А. Производительность вакуумных рыбонасосных установок большой мощности / В. А. Наумов, Н. Л. Великанов, А. А. Землянов // Рыбное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 101-105. – DOI 10.37663/0131-6184-2020-4-101-105.

6. Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта "мичуринская" / С. П. Рудобашта, А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства : Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, Москва, 22–23 мая 2018 года. – Москва: Издательство "Перо", 2018. – С. 189-196.

7. Жидкостнокольцевые вакуум-насосы для тепло- и массообменных процессов / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, М. А. С. Махмуд [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27. – № 3. – С. 428-441. – DOI 10.17277/vestnik.2021.03.pp.428-441.

8. Попова, И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попова Ирина Викторовна. – Мичуринск, 2009. – 18 с.

9. Иванова, Е. П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения : специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Иванова Екатерина Петровна. – Мичуринск, 2016. – 22 с.

10. Родионов, Ю. В. Вакуумные технологии и оборудование для переработки сельскохозяйственного сырья / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации: Материалы 72-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 20 апреля 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 326-331.

11. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы для сельского хозяйства / М. В. Сычев, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин [и др.] // Наука в центральной России. – 2018. – № 5(35). – С. 61-70.

12. Технология вакуумно-импульсного экстрагирования растворимых веществ из крапивы и хмеля / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, С. А. Анохин [и др.] // Инновационная техника и технология. – 2018. – № 2(15). – С. 23-27.

13. ГОСТ 13733-77. Колёса зубчатые цилиндрические мелкомодульные прямозубые и косозубые. Типы. Основные параметры и размеры. – Взамен ГОСТ 13733-68; Введ. с 01.01.78 по 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 5 с.

14. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчёт на прочност. – Взамен ГОСТ 21354-75; Введ. 1989-01-01. –М.: Изд-во стандартов, 1993 – 104 с.

15. URL:https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf

16. Родионов Ю.В., Галкин П.А., НикитинД.В., Сычев М.В. Конструктивные особенности жидкостнокольцевого вакуум-насоса с кинематической связью. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: ИздвоТамб. гос. техн. ун-та, 2016. Т.22. № 3. С.463– 471.

17. Патент № 2761191 C1 Российская Федерация, МПК C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Способ поверхностного упрочнения детали из полимерного материала : № 2021106201 : заявл. 11.03.2021 :опубл. 06.12.2021 / И. С. Филатов, Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

18. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров / Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова [и др.] // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 85-97. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97.

References

1. Matveev D.A., Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Rybin G.V., Danilin S.I. Zhidkostnoe jekstragirovanie rastitel'nyh materialov s maksimal'nym sohraneniem biologicheski aktivnyh veshhestv // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitanija. – 2021. - №1. – S. 164-172

2. Povyshenie jeffektivnosti mehanizacii transportirovanija suhih sypuchih rastitel'nyh materialov /P.S. Platicin i dr. // Nauchno- teoreticheskij zhurnal «Innovacionnaja tehnika i tehnologija». Penza. 2017. № 1 (10). S.9-15

3. Rodionov, Ju.V. Povyshenie jeffektivnosti i jekspluatacionnyh harakteristik dvuhstupenchatyh zhidkostnokol'cevyh vakuum nasosov: dis.… kand. tehn. nauk: 05.04.09: zashhishhena 14.06.00: utv. 10.11.00 / Rodionov Jurij Viktorovich. – Tambov, 2000. – 135 s.

4. Nikitin, D.V. Sovershenstvovanie konstrukcij i obespechenie zadannyh jekspluatacionnyh harakteristik zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov: dis. … kand. tehn. nauk: 05.02.13: zashhishhena 31.10.10: utv. 11.03.2011 / Nikitin Dmitrij Vjacheslavovich. – Tambov, 2010. – 158 s.

5. Naumov, V. A. Proizvoditel'nost' vakuumnyh rybonasosnyh ustanovok bol'shoj moshchnosti / V. A. Naumov, N. L. Velikanov, A. A. Zemlyanov // Rybnoe hozyajstvo. – 2020. – № 4. – S. 101-105. – DOI 10.37663/0131-6184-2020-4-101-105.

6. Issledovanie i vybor rezhimnyh parametrov ekstragirovaniya biologicheski aktivnyh veshchestv iz tykvy sorta "michurinskaya" / S. P. Rudobashta, A. A. Gus'kov, YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin // Sushka, hranenie i pererabotka produkcii rastenievodstva: Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara, posvyashchyonnogo 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva, Moskva, 22–23 maya 2018 goda. – Moskva: Izdatel'stvo "Pero", 2018. – S. 189-196.

7. ZHidkostnokol'cevye vakuum-nasosy dlya teplo- i massoobmennyh processov / D. V. Nikitin, YU. V. Rodionov, M. A. S. Mahmud [i dr.] // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – T. 27. – № 3. – S. 428-441. – DOI 10.17277/vestnik.2021.03.pp.428-441.

8. Popova, I. V. Sovershenstvovanie tekhnologii i sredstv sushki ovoshchnogo syr'ya : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Popova Irina Viktorovna. – Michurinsk, 2009. – 18 s.

9. Ivanova, E. P. Razrabotka tekhnologii prigotovleniya suhoj zakvaski na osnove rastitel'nogo syr'ya dlya proizvodstva hlebobulochnyh izdelij funkcional'nogo naznacheniya : special'nost' 05.18.01 "Tekhnologiya obrabotki, hraneniya i pererabotki zlakovyh, bobovyh kul'tur, krupyanyh produktov, plodoovoshchnoj produkcii i vinogradarstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata sel'skohozyajstvennyh nauk / Ivanova Ekaterina Petrovna. – Michurinsk, 2016. – 22 s.

10. Rodionov, YU. V. Vakuumnye tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki sel'skohozyajstvennogo syr'ya / YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin // Perspektivnye tekhnologii v sovremennom APK Rossii: tradicii i innovacii : MATERIALY 72-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ryazan', 20 aprelya 2021 goda / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva». – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2021. – S. 326-331.

11. ZHidkostno-kol'cevye vakuumnye nasosy dlya sel'skogo hozyajstva / M. V. Sychev, YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 5(35). – S. 61-70.

12. Tekhnologiya vakuumno-impul'snogo ekstragirovaniya rastvorimyh veshchestv iz krapivy i hmelya / A. A. Gus'kov, YU. V. Rodionov, S. A. Anohin [i dr.] // Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya. – 2018. – № 2(15). – S. 23-27.

13. GOST 13733-77. Koljosa zubchatye cilindricheskie melkomodul'nye prjamozubye i kosozubye. Tipy. Osnovnye parametry i razmery. – Vzamen GOST 13733-68; Vved. s 01.01.78 po 01.01.83. – M.: Izd-vo standartov, 1977. – 5 s.

14. GOST 21354-87. Peredachi zubchatye cilindricheskie jevol'ventnye vneshnego zaceplenija. Raschjot na prochnost. – Vzamen GOST 21354-75; Vved. 1989-01-01. – M.: Izd-vo standartov, 1993 – 104 s.

15. URL:https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf

16. Rodionov Ju.V., Galkin P.A., Nikitin D.V., Sychev M.V. Konstruktivnye osobennosti zhidkostnokol'cevogo vakuum-nasosa s kinematicheskoj svjaz'ju. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tambov: Izdvo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2016. T.22. № 3. S.463– 471.

17. Patent № 2761191 C1 Rossijskaja Federacija, MPK C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Sposob poverhnostnogo uprochnenija detali iz polimernogo materiala : № 2021106201 : zajavl. 11.03.2021 : opubl. 06.12.2021 / I. S. Filatov, N. V. Voronin, Ju. V. Rodionov [i dr.] ; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Tambovskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet».

18. Teoreticheskie issledovanija kontaktnyh i izgibnyh naprjazhenij lopatok rabochego kolesa i korpusa zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa iz polimerov / N. V. Voronin, Ju. V. Rodionov, A. I. Skomorohova [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 3(45). – S. 85-97. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Рыбин Григорий Вячеславович – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail:enot1237@gmail.com

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Галкин Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Иванов Олег Олегович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

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

Rodionov Yury - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

RybinGrigory - student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Voronin Nikolai – postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Galkin Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Ivanov Oleg - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 18.03.2022

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕМЯН С ЕМКОСТНЫМ ДАТЧИКОМ ВЫСЕВА

[1]Балашов Александр Владимирович
[1]Стрыгин Сергей Петрович
[1]Пустоваров Никита Юрьевич
[2]Ноздрина Анастасия Олеговна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Перспективным направлением развития сеялок точного высева является их электрификация с разработкой системы управления вращения диска высевающего аппарата, а также, совершенствование системы контроля высева семян с последующей разработкой алгоритма автоматического управления и регулирования положения съемника двойников. Для обеспечения качественной и надежной работы системы автоматического управления положения съемника двойников необходимо изучить взаимодействие семян с емкостным датчиком высева и определить продолжительность пролета одного семени через его чувствительные элементы. Исследования проводились с семенами различных культур: соя (сорт “Лиссабон”), кукуруза (сорт “Фалькон”), люпин (сорт “Дельта”), сахарная свекла для экспериментов (фракция: 3,50–4,75). Значения времени пролета семян через чувствительные элементы датчика высева с точностью до одной миллисекунды определялись в ходе лабораторных исследований и отображались на дисплее в виде графика, сохранялись в памяти компьютера и затем обрабатывались методами математической статистики. По результатам исследований были получены данные о времени пролета семян через емкостной датчик, которые составляют для: соя - от 11 до 13 мс, люпин – от 11 до 14 мс, сахарная свекла – от 7 до 9 мс, кукуруза – от 12 до 14 мс. Они практически не изменяются в рабочем диапазоне скоростей посевного агрегата (частота вращения высевающего диска 20 – 60 об/мин), и могут быть приняты за время пролета одного семени в дальнейших расчетах. Полученные данные позволят определять более детальную информацию о работе посевного агрегата (пропуски, двойники, повреждённые семена), что значительно увеличит функциональность используемых систем контроля высева.*

Ключевые слова: *высев, семена, датчик высева, контроль высева, время высева.*

RESEARCH OF INTERACTION THE SEEDS WITH A CAPACITIVE SOWING SENSOR

[1]Balashov Alexander
[1]Strygin Sergei
[1]Pustovarov Nikita
[2]Nozdrina Anastasia
[1]FSBSI “All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture”
[2]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract. *A promising direction for the development of precision seeding drills is their electrification with the development of a control system for the rotation of the disc of the seeding apparatus, as well as the improvement of the seeding control system with the subsequent development of an algorithm for automatic control and regulation of the position of the puller doubles. The interaction of seeds with a capacitive seeding sensor is necessary to study and determine the duration of the flight of one seed through its sensitive elements to ensure high-quality and reliable operation of the automatic control system for the position of the doubles puller. The research was carried out with seeds of various crops: soy (variety "Lisbon"), corn (variety "Falcon"), lupin (variety "Delta"), sugar beet for experiments (fraction: 3.50–4.75). The values of the time of flight of seeds through the sensitive elements of the seeding sensor were determined with an accuracy of one millisecond in the course of laboratory studies and displayed on the display in the form of a graph, stored in the computer's memory and then processed by methods of mathematical statistics. Data on the time of flight of seeds through the capacitive sensor, which are for: soybean - from 11 to 13 ms, lupine - from 11 to 14 ms, sugar beet - from 7 to 9 ms, corn - from 12 to 14 ms were obtained from the results of research. They practically do not change in the operating speed range of the sowing unit (sowing disc rotation frequency 20 - 60 rpm), and can be taken as the time of flight of one seed in further calculations.The obtained data will allow to determine more detailed information about the operation of the sowing unit (skips, twins, damaged seeds), which will significantly increase the functionality of the seeding control systems used.*

Keywords: *seeding, seeds, seeding sensor, seeding control, seeding time.*

Введение. Современные тенденции производства сельскохозяйственной продукции требуют внедрения цифровых, информационных и коммуникационных технологий, поддерживающих и оптимизирующих все технологические процессы в растениеводстве. Передовые технологии внедряются в сельскохозяйственную технику, от работы которой зависит эффективность производства и качество получаемой продукции [1 – 3].

Посев является одной из важнейших агротехнических операций. Качество и своевременность посева в значительной степени определяют развитие растений и формирование урожая. Повышающиеся требования к качеству работы посевных машинам обуславливают необходимость разработки систем автоматического управления и регулировки высева. [4 – 6]

Одним из основных факторов, влияющих на количество урожая, является норма высева семян. Поэтому изучение физико-механических свойств семян и исследование параметров взаимодействия их с элементами системы контроля, в частности с датчиком высева, необходимо для дальнейшего совершенствования чувствительных элементов систем контроля и разработки алгоритмов управления высевом. [4, 7]

Определение временных интервалов взаимодействия семян с емкостным датчиком высева является важной составляющей для правильной оценки регистрации семян при проведении испытаний высевающих аппаратов сеялок точного высева и для разработки автоматических систем управления приводом высевающего диска и съемника двойников. [8]

Цель исследования - определить время взаимодействия семян различных культур с емкостным датчиком высева, оценить статистические характеристики и распределение его величин.

Материалы и методы. Лабораторные исследования взаимодействия семян с емкостным датчиком пневматического высевающего аппарата проводились на стенде, общий вид которого представлен на рисунке 1. [9]

Рисунок 1 – Общий вид лабораторного стенда

Вращение диска высевающего аппарата осуществлялось электродвигателем FL86BLS71 через редуктор. Для энергообеспечения работы двигателя применялся импульсный источник питания SDR-960-48. Управление режимами работы электродвигателя осуществлялось через блок управления бесколлекторным двигателем BLSD-50 с помощью панели оператора MT6071iE. [9]

В ходе лабораторных исследований определялось время пролета семян через чувствительные элементы датчика высева с точностью до одной миллисекунды, отображаемое на дисплее в виде графика, рисунок 2, сохранялось в памяти компьютера и затем эти данные обрабатывались методами математической статистики с помощью программ Mathcad и Excel. [10, 11]

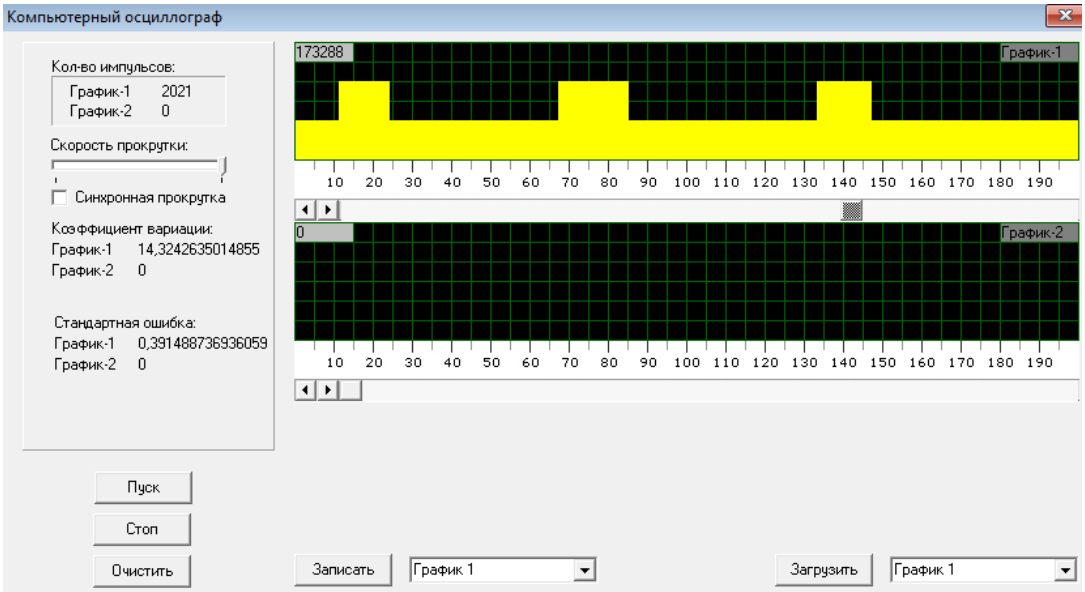


Рисунок 2 – Интерфейс окна программы оценки качества высева

По каждому опыту результаты замеров были систематизированы в статистические ряды, по ним построены гистограммы распределения случайных величин и определены численные значения. [12]

Исследования проводились с семенами различных культур: соя (сорт “Лиссабон”), кукуруза (сорт “Фалькон”), люпин (сорт “Дельта”), сахарная свекла для экспериментов (фракция: 3,50 - 4,75). [4, 13, 14]

Результаты и их обсуждения. По результатам экспериментов были получены статистические данные о продолжительности пролета семян через датчик высева, определенны модальные и рассчитаны средние значения. На рисунках 3–7 представлены графики распределения значений времени взаимодействия семян различных культур с емкостным датчиком высева на различных частотах вращения диска высевающего аппарата.

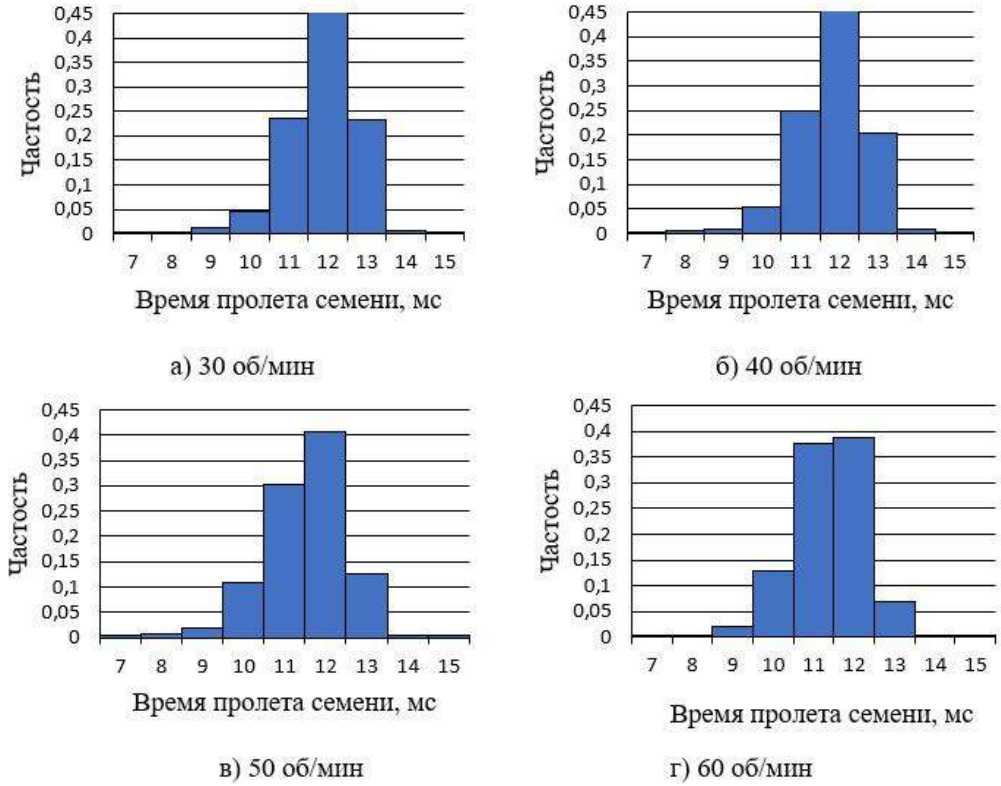
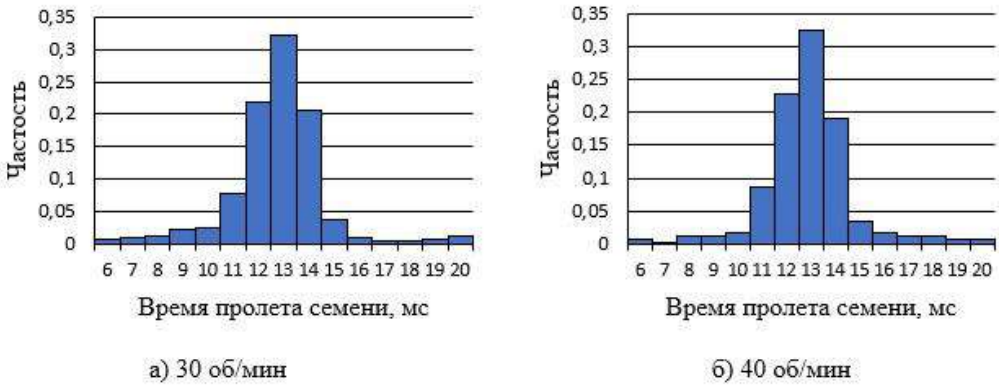
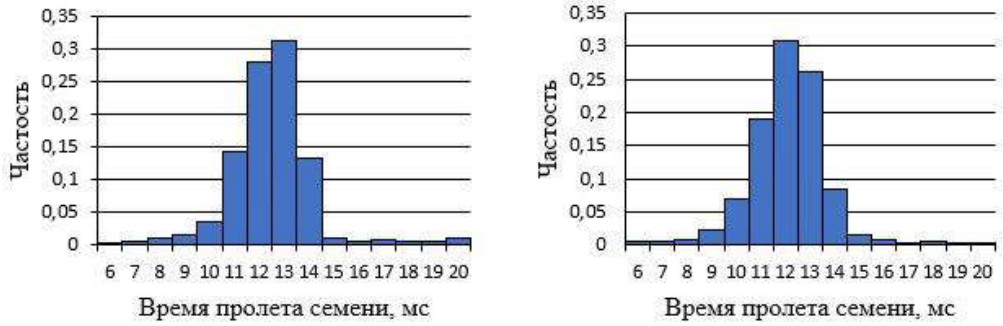


Рисунок 3 – Гистограмма распределений времени взаимодействия семян сои с датчиком высева в зависимости от частоты вращения высевающего диска

Как видно из графиков рисунка 3, основное количество значений временных интервалов пролета семян в чувствительной зоне датчика находилось в интервале от 11 до 13 мс, причем 12 мс является модальным для всех частот вращения высевающего диска, т.к. чаще всего появляется в наборе данных.



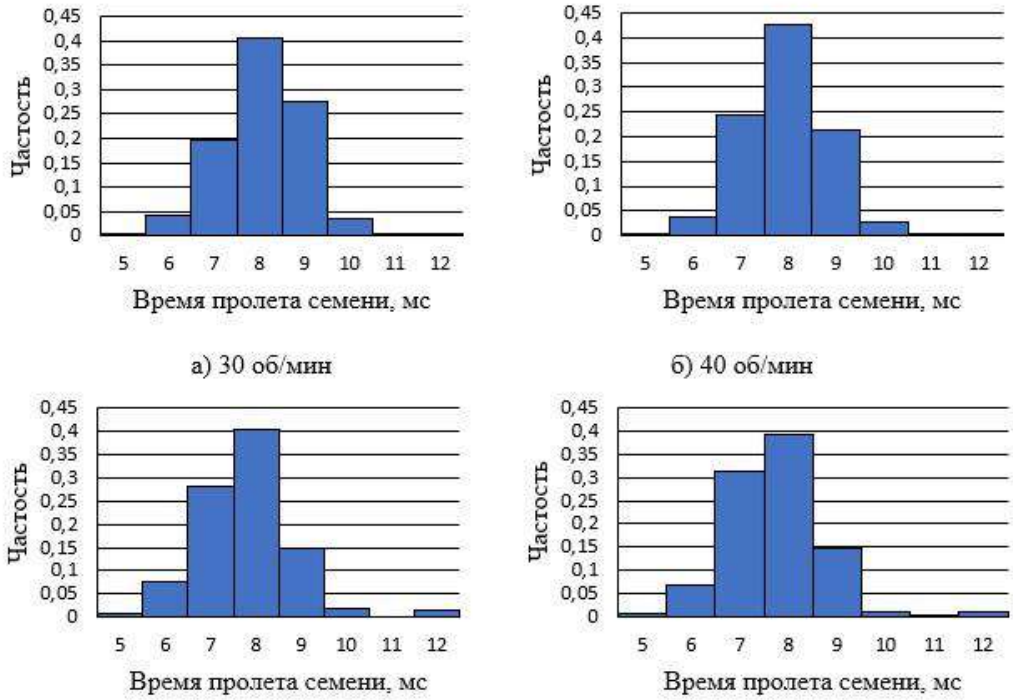


в) 50 об/мин г) 60 об/мин

Рисунок 4 - Гистограмма распределений времени взаимодействия семян люпина с датчиком высева в зависимости от частоты вращения высевающего диска

Из анализа графиков рисунка 4 следует, что до 75% данных находилось в интервале 12 – 14 мс (рисунок 4 а, б), при модальном значении 12 мс и при частости модальных значений до 0,33. С увеличением частоты вращения диска до 50 об/мин возрастал удельный вес временных интервалов пролета семян и принимал значение 12 мс (рисунок 4 в), а при достижении 60 об/мин данное значение становилось модальным (рисунок 4 г), при этом 85% значений находилось в диапазоне от 11 до 14 мс.

Это связано с тем, что семена люпина сорта «Дельта» обладают сильно отличающейся поперечной проекцией сечения. И в зависимости от положения семени в пространстве проекция поперечного сечения может колебаться от 6 до 14 мм.



а) 30 об/мин б) 40 об/мин

в) 50 об/мин г) 60 об/мин

Рисунок 5 - Гистограмма распределений времени взаимодействия семян сахарной свеклы с датчиком высева в зависимости от частоты вращения высевающего диска

Анализируя графики рисунка 5, видно, что около 88% данных находилось в интервале от 7 до 9 мс при модальном значении равном 8 мс на всех частотах вращения диска высевающего аппарата, удельный вес модального значения находился в пределах 39%–43%.

Незначительные изменения значений временных интервалов пролета семян, в зависимости от частот вращения диска высевающего аппарата, связано с небольшими колебаниями размеров семян сахарной свеклы.

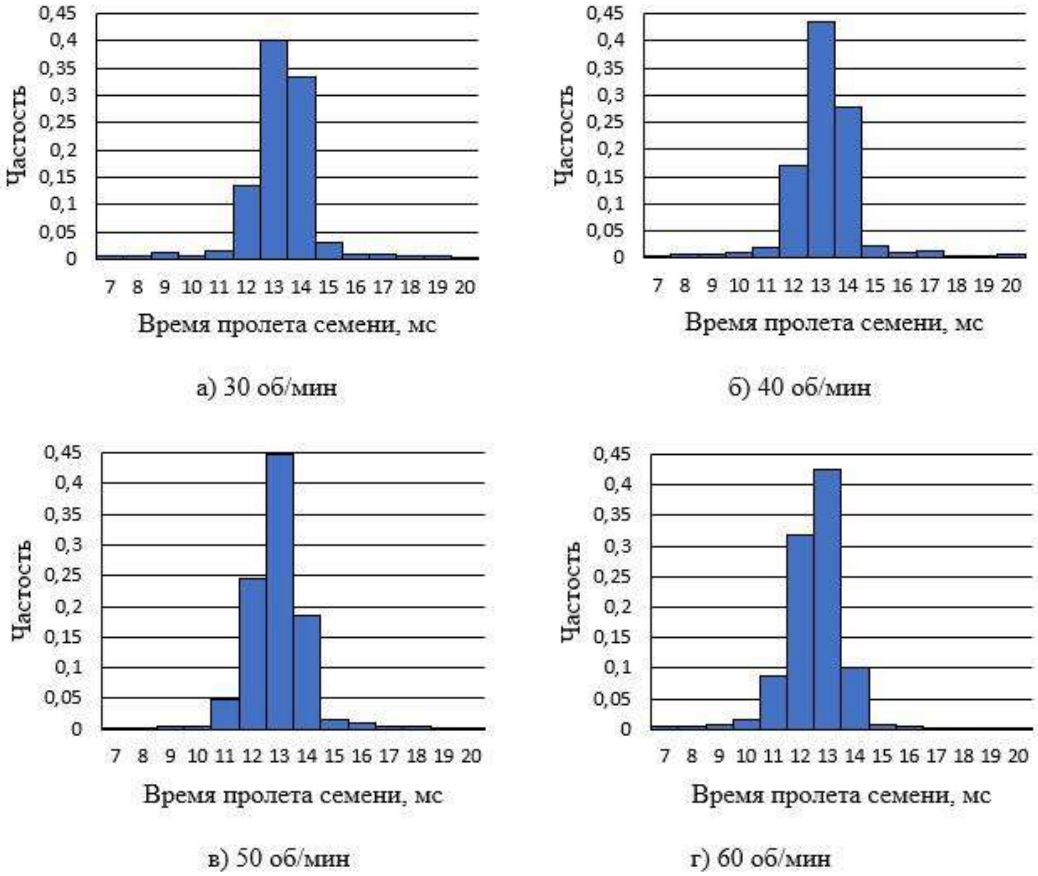


Рисунок 6 - Гистограмма распределений времени взаимодействия семян кукурузы с датчиком высева в зависимости от частоты вращения высевающего диска

Из графиков рисунка 6 следует, что основное количество данных находилось в интервале 12 – 14 мс, при модальном значении 13 мс и частости модального значения от 0,4 до 0,45.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о наличии тенденции к уменьшению времени пролета семян через чувствительные элементы датчика с увеличением частоты вращения высевающего диска. Это связано с более высокой начальной скоростью семян при отрыве от присасывающих отверстий высевающего диска.

По результатам опытов был построен график средней продолжительности взаимодействия семян с емкостным датчиком, который представлен на рисунке 7.

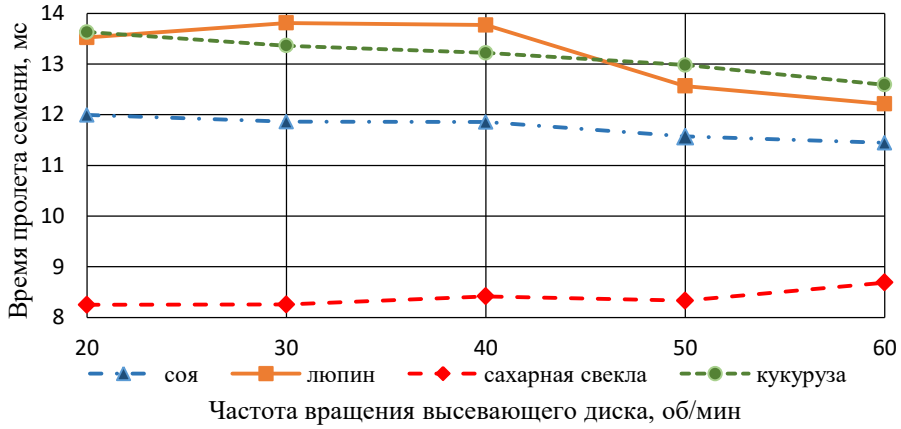


Рисунок 7 – Средняя продолжительность пролета семян через датчик высева

Исходя из полученных значений, можно сделать вывод о том, что увеличение скорости вращения диска высевающего аппарата приводило к изменению среднего времени взаимодействия семян с емкостным датчиком в интервале от 0,412 мс до 0,769 мс. Полученные данные, в диапазоне рабочих скоростей посевного агрегата, изменялись незначительно, что позволяет использовать полученные значения при программировании систем контроля и управления высевом в качестве опорных значений временных интервалов пролета семян в чувствительной зоне емкостного датчика высева, для учета количества пропусков, двойников и дробленых семян.

Выводы. По результатам исследований были получены данные о времени пролета семян через емкостной датчик, которые составили для семян сои сорта «Лиссабон» от 11 до 13 мс, люпина сорта «Дельта» – от 11 до 14 мс, сахарной свеклы калибра 3,5 - 4,75 мм – от 7 до 9 мс, кукурузы сорта «Фалькон» – от 12 до 14 мс.

Распределение временных интервалов взаимодействия семян с емкостным датчиком высева является важной составляющей для правильной оценки регистрации семян при проведении испытаний высевающих аппаратов сеялок точного высева, а также для разработки систем контроля и управления высевом. Для оценки качества процесса высева необходимо определять точное количество пропусков, двойников и дробленых семян для последующего анализа, и прогнозирования предполагаемой всхожести высеваемых культур. Полученные значения можно использовать для определения предельных значений параметров, характеризующих пропуски, двойники и дробленые семена.

Список литературы

1. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Ильченко Е.Н., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С., Афонина И.И. Управление производственными процессами полеводческих предприятий с использованием информационных и цифровых технологий // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 1 (30). – С. 180–190.

2. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие – проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 2. – С. 83.

3. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Гончаров Н.Т., Афонина И.И., Алексеев И.С., Лонин С.Э. Автоматизированные системы управления для оптимизации работы МТА // Сельский механизатор. - 2017. - №7. - С. 14–16.

4. Стрыгин С.П., Крищенко А.В., Завражнов А.А., Дергачев Д.В. Результаты лабораторно-стендовых исследований высевающего аппарата сеялки МС-8 // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. - № 1 (60). – С. 48–51.

5. Kryuchin N.P., Kotov D.N., Andreev A.N., Artamonova O.A. Development and research of seeding devices for selected selfpropelled pneumatic seeder // BIO Web of Conferences 37, 00092 (2021). - https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700092.

6. Крючин Н.П. Влияние способов формирования семенного потока высевающими аппаратами на равномерность распределения семян в рядке // Научное обозрение. – 2015. - №3. – С. 8-12.

7. Завражнов А.И., Измайлов А.Ю., Пустоваров Н.Ю. Разработка и обоснование параметров ёмкостного датчика высева семян пропашных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2019. - Т. 13. - № 2 – С. 4–9.

8. Завражнов А.И., Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Крищенко А.В. Модернизированная система контроля высева семян // Наука в центральной России. - №2 (38). - 2019. – С. 53–60.

9. Балашов А.В., Пустоваров Н.Ю. Стендовые исследования высевающего аппарата с электрическим приводом // Приоритетные направления электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции. Ярославль, 18 ноября 2021 г. - 2022. – С. 8-12.

10. Балашов А.В., Стрыгин С.П. Результаты лабораторно-стендовых исследований высевающего аппарата для капсулированных семян пропашных культур // Наука в центральной России. - 2015.- №6 (18) – С. 78–84.

11. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2020660672. Оценка качества работы высевающего аппарата / Стрыгин С.П., Синельников А.А., Крищенко А.В., Ермак В.И. // правообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – № 2020619942, заяв. 03.09.2020; дата опубл. 09.09.2020.

12. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021668066. Расчет результатов испытаний высевающих аппаратов / С.П. Стрыгин, Н.Ю. Пустоваров // правообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – №2021668514, заяв. 17.11.2021; дата опубл. 23.11.2021.

13. Зазуля А.Н., Синельников А.А., Хайруллина С.Г. Технология возделывания сои и кукурузы на зерно в Тамбовской области // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК. Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции. - 2019. С. 112-116.

14. Дубинкина Е.А., Беляев Н.Н. Люпин белый и люпин узколистный в условиях Тамбовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2018. - №1(25). - С. 103-106.

References

1. Izmajlov A.Ju., Smirnov I.G., Il'chenko E.N., Goncharov N.T., Luzhnova E.S., Afonina I.I. Upravlenie proizvodstvennymi processami polevodcheskih predprijatij s ispol'zovaniem informacionnyh i cifrovyh tehnologij // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2019. – № 1 (30). – S. 180–190.

2. Izmajlov A.Ju., Lichman G.I., Marchenko N.M. Tochnoe zemledelie – problemy i puti reshenija // Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii. – 2018. – № 2. – S. 83.

3. Izmajlov A.Ju., Horoshenkov V.K., Luzhnova E.S., Goncharov N.T., Afonina I.I., Alekseev I.S., Lonin S.Je. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija dlja optimizacii raboty MTA // Sel'skij mehanizator. - 2017. - №7. - S. 14–16.

4. Strygin S.P., Krishhenko A.V., Zavrazhnov A.A., Dergachev D.V. Rezul'taty laboratorno-stendovyh issledovanij vysevajushhego apparata sejalki MS-8 // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. - № 1 (60). – S. 48–51.

5. Kryuchin N.P., Kotov D.N., Andreev A.N., Artamonova O.A. Development and research of seeding devices for selected selfpropelled pneumatic seeder // BIO Web of Conferences 37, 00092 (2021). - https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700092.

6. Krjuchin N.P. Vlijanie sposobov formirovanija semennogo potoka vysevajushhimi apparatami na ravnomernost' raspredelenija semjan v rjadke // Nauchnoe obozrenie. – 2015. - №3. – S. 8-12.

7. Zavrazhnov A.I., Izmajlov A.Ju., Pustovarov N.Ju. Razrabotka i obosnovanie parametrov jomkostnogo datchika vyseva semjan propashnyh kul'tur // Sel'skohozjajstvennye mashiny i tehnologii. - 2019. - T. 13. - № 2 – S. 4–9.

8. Zavrazhnov A.I., Balashov A.V., Strygin S.P., Pustovarov N.Ju., Krishhenko A.V. Modernizirovannaja sistema kontrolja vyseva semjan // Nauka v central'noj Rossii. - №2 (38). - 2019. – S. 53–60.

9. Balashov A.V., Pustovarov N.Ju. Stendovye issledovanija vysevajushhego apparata s jelektricheskim privodom // Prioritetnye napravlenija jelektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva: sbornik nauchnyh trudov po materialam Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii. Jaroslavl', 18 nojabrja 2021 g. - 2022. – S. 8-12.

10. Balashov A.V., Strygin S.P. Rezul'taty laboratorno-stendovyh issledovanij vysevajushhego apparata dlja kapsulirovannyh semjan propashnyh kul'tur // Nauka v central'noj Rossii. - 2015.- №6 (18) – S. 78–84.

11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlja JeVM №2020660672. Ocenka kachestva raboty vysevajushhego apparata / Strygin S.P., Sinel'nikov A.A., Krishhenko A.V., Ermak V.I. // pravoobladatel' FGBNU VNIITiN. – № 2020619942, zajav. 03.09.2020; data opubl. 09.09.2020.

12. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlja JeVM №2021668066. Raschet rezul'tatov ispytanij vysevajushhih apparatov / S.P. Strygin, N.Ju. Pustovarov // pravoobladatel' FGBNU VNIITiN. – №2021668514, zajav. 17.11.2021; data opubl. 23.11.2021.

13. Zazulja A.N., Sinel'nikov A.A., Hajrullina S.G. Tehnologija vozdelyvanija soi i kukuruzy na zerno v Tambovskoj oblasti // V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii - novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja APK. Sbornik nauchnyh dokladov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. - 2019. S. 112–116.

14. Dubinkina E.A., Beljaev N.N. Ljupin belyj i ljupin uzkolistnyj v uslovijah tambovskoj oblasti // Zernobobovye i krupjanye kul'tury. - 2018. - №1(25). - S. 103–106.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Балашов Александр Владимирович - доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

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

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

Ноздрина Анастасия Олеговна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: agro@tstu.ru.

Author credentials

Affiliation

Balashov Alexsander - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Strygin Sergei - Candidate of Technical Sciences, 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: sew1982@gmail.com.

Pustovarov Nikita - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Nozdrina Anastasia - master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: agro@tstu.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 17.03.2022

УДК 631.319.:631.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-78-87

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЕСПРИВОДНОГО РОТАЦИОННОГО ОРУДИЯ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[2]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Сариго Надежда Викторовна
[1]Лукин Сергей Геннадьевич
[1]ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова,
[2]ООО «Меридиан»

Реферат. *Перспективным направлением при поверхностной обработке почвы является разработка и применение бесприводного ротационного почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами в режиме подтормаживания. Для проведения испытаний выбран участок после уборки ячменя с влажностью почвы 23-24% слой до 20 см и твердостью 1 Мпа, для контрольной обработки почвы использовали плуг ПН-4-35 при скорости движения 8-8,2 км/ч. У разработанного почвообрабатывающего ротационного орудия эффект рыхления и измельчения почвы обеспечивается подтормаживанием валов, соединенных цепной передачей и сменными звездочками. Установка валов на межосевое расстояние 600 мм, а междисковое на 144мм, обеспечивает самоочистку рабочих органов от забивания соломой и почвой. Крутящий момент измельчителя изменяется в пределах 550-850Нм. Вал передней батареи выполняет попеременно функции рыхлителя и привода второго вала и имеет знакопеременный крутящий момент ±1100Нм. Режим подтормаживания обеспечивается цепной передачей с передаточным отношением 1,5-3,0. Установлена зависимость коэффициента подтормаживания (К) от твердости обрабатываемой почвы. Наилучшие показатели качества поверхностной обработки почвы получены при К=1,8. Установлено, что увеличение К сопровождается интенсивным рыхлением почвы, что приводит к уменьшению стерни на поверхности на 7-13%. Увеличение плотности почвы приводит к образованию комков диаметром до 80 мм, нарушается глубина обработки, происходит неравномерное распределение нагрузки на рабочие органы батарей. Определено, что глубина обработки игольчатыми дисками с подтормаживанием в зависимости от состояния и предшествующей обработки почвы колеблется в пределах 80-100 мм.* Изготовлена лабораторно-полевая *установка. Качество предпосевной подготовки почвы выполняется лопатками длинной 280мм с междисковым расстоянием 144мм и минимально возможным расстоянием валов – 600мм. Полевые испытания игольчатых рабочих органов с подтормаживанием указали на необходимость уточнения конструктивно режимных параметров и формы рабочих органов орудия.*

Ключевые слова: *обработка почвы, технологии, почвообрабатывающие орудия, рабочие органы, ротационное орудие, режим подтормаживания.*

EXPERIMENTAL EVALUATION OF TILLAGE WORKING BODIES OF A NON-WATER ROTARY IMPLEMENT

[1]Shvartz Anatoly
[2]Shvartz Sergey
[1]Sarigo Nadezhda
[1]Lukin Sergey
[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"
[2]OOO "Meridian"

Abstract. *A promising direction in surface tillage is the development and use of a non-driven rotary tillage tool with needle-shaped working bodies in the braking mode. For testing, a site was selected after harvesting barley with a soil moisture content of 23–24%, a layer of up to 20 cm and a hardness of 1*

MPa; for control soil cultivation, a PN-4-35 plow was used at a speed of 8–8.2 km/h.The effect of loosening and grinding the soil in the developed rotary tillage tool is provided by the braking of the shafts connected by a chain drive and replaceable sprockets. Installing the shafts at a center distance of 600 mm, and between the discs at 144 mm, provides self-cleaning of the working bodies from clogging with straw and soil. The chopper torque varies within 550-850Nm. The shaft of the front battery performs alternately the functions of a ripper and a drive of the second shaft and has a sign-variable torque of ± 1100 Nm. The braking mode is provided by a chain transmission with a gear ratio of 1.5-3.0. The dependence of the braking coefficient (K) on the hardness of the cultivated soil has been established. The best indicators of the quality of surface tillage were obtained at K=1.8. It has been established that an increase in K is accompanied by intensive loosening of the soil, which leads to a decrease in stubble on the surface by 7-13%. An increase in soil density leads to the formation of lumps up to 80 mm in diameter, the depth of processing is disturbed, and there is an uneven distribution of the load on the working bodies of the batteries. It was determined that the depth of cultivation with needle discs with braking, depending on the condition and previous tillage, ranges from 80-100 mm. A laboratory-field installation was made. The quality of pre-sowing soil preparation is carried out with blades 280 mm long with an inter-disc distance of 144 mm and the minimum possible distance of the shafts is 600 mm. Field tests of needle-shaped working bodies with slowdown indicated the need to clarify the design and regime parameters and the shape of the working bodies of the tool.

Key words: *tillage, technologies, tillage implements, working bodies, rotary implement, braking mode.*

Введение. Система земледелия направлена на повышение, или в крайнем случае – сохранение плодородия почвы и носит почвозащитный характер [1,2]. Качественная обработка почвы обеспечивает высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Предполагает сохранение почвенной влаги, снижение потерь плодородия почвы из-за водной и воздушной эррозии. К основным технологиям обработки почвы относятся отвальная и безотвальная и их комбинации [3]. Применение безотвальной системы позволяет обеспечить наиболее благоприятные условия для прорастания возделываемых культур и, как следствие, получать стабильно высокие урожаи. Наличие на поверхности почвы мульчирующего слоя значительно повышает несущую способность грунта, что позволяет приступить к выполнению полевых работ в более ранние сроки. Кроме этого, предотвращается эрозия почвы.В обширном многообразии орудий для поверхностной обработки почвы присутствуют дисковые [4].

Не останавливаясь на преимуществах и недостатках этих технологий и орудий, приводятся результаты сравнительных испытаний бесприводного ротационного оборудования с игольчатыми (от БИГ-3) и экспериментальными рабочими органами по вспашке и плоскорезной обработке почвы.

Материалы и методика исследования. Для проведения испытаний выделили участок после уборки ячменя с влажностью почвы 23-24% слой до 20см и твердостью 1 МПа. Агрофон и условия проведения сравнительных испытаний соответствовали агротребованиям основной обработки почвы. Контрольная обработка проводилась плугом ПН-4-35 при скорости движения 8-8,2 км/ч.

Качественная работа плоскорезом зависит, в основном, от количества рабочих органов и ширины захвата, что и формирует профиль обработанной поверхности поля[5].

Сравнение вариантов обработки почвы плоскорезом с двумя, тремя и пятью лапами шириной, соответственно 110,75 и 41 см показало преимущество ножей шириной 110 см. В этом варианте стерни осталось до 95% (рисунок 1).

С целью сохранения требований противоэрозионной обработки почвы промышленность выпускает бороны типа БИГ-3 с игольчатыми рабочими органами, которые предназначены для рыхления полей покрытых стерней на глубину 4-6см с сохранением влаги, заделки семян сорняков без нарушения стерни и выравнивания поверхности поля.

Рисунок 1 - Обработка стерни двумя плоскорежущими лапами шириной 110 см каждая

Анализ и обсуждение. Анализ показателей работы показывает, что борона даже с активным расположением рабочих органов и установкой прицепного устройства, недостаточно соответствует проектным характеристикам.

В связи с этим проработана возможность использования игольчатых рабочих органов в режиме подтормаживания [6], входящей дополнительной секцией комбинированного почвообрабатывающего агрегата (рисунок 2).

Рисунок 2.- Ротационное орудие с игольчатыми рабочими органами

На раме установлено 4 фронтально расположенных батарей игольчатых дисков об бороны БИГ-3 с попарным цепным приводом на каждой стороне и работающих с подтормаживанием. Передние батареи работают в режиме подтормаживания, вторые в режиме буксования (измельчения почвы) [7]. Коэффициент подтормаживания регулируется сменными звездочками. В конструкции предусмотрено регулировка глубины обработки и изменения межосевого расстояния между валами батарей от 60 до 150см.

Экспериментально подтверждена целесообразность применение игольчатых рабочих органов с подтормаживанием по плоскорезной (рисунок 3а) и плужной (рисунок 3б) обработках почвы.

а б

Рисунок 3 - Работа агрегата по: участку плоскорезной обработки почвы (а) вспаханному полю (б)

Установлена зависимость коэффициента подтормаживания от твердости обрабатываемой почвы. Это значение по глубокой плоскорезной и плужной обработке составляет 1.5-1.8, а для поверхностной – 1,8-2,0. При увеличении передаточного отклонения более 2,2 возможны случаи забивания рабочих органов почвой или растительными остатками. Этот недостаток устраняется самоочисткой междискового пространства при минимальном межосевом расстоянии и установкой чистиков на первой батареи. Глубина обработки игольчатыми дисками с подтормаживанием в зависимости от состояния и предшествующей обработки почвы колеблется в пределах 80-100 мм.

Однако по колее колесного трактора Т-150К при плоскорезной обработке по стерне образуется колея глубиной 50-60мм, и как результат – изменение гребности (в зависимости от количества плоскорезных лап) от 59 до 86мм (рисунок 4). Увеличение плотности почвы приводит к образованию комков диаметром до 80 мм, нарушается глубина обработки, происходит неравномерное распределение нагрузки на рабочие органы батарей.

Рисунок 4 - Гребнистость поверхности поля после прохода плоскореза

Увеличение передаточного отношения цепной передачи сопровождается интенсивным рыхлением почвы что приводит к уменьшению стерни на 7-13%.

Значимым показателем работы агрегата по противоэрозионным свойствам является агрегатный состав почвы. Сравнительный анализ влияния режимов работы игольчатых рабочих органов на данный показатель до обработки участка (рисунок 5), и после прохода плоскореза с

двумя лапами по 110 см и бороны со сферическими дисками показал, что наилучшая сепарация почвы достигнута при К=1,8. Аналогичный результат получен и после вспашки.

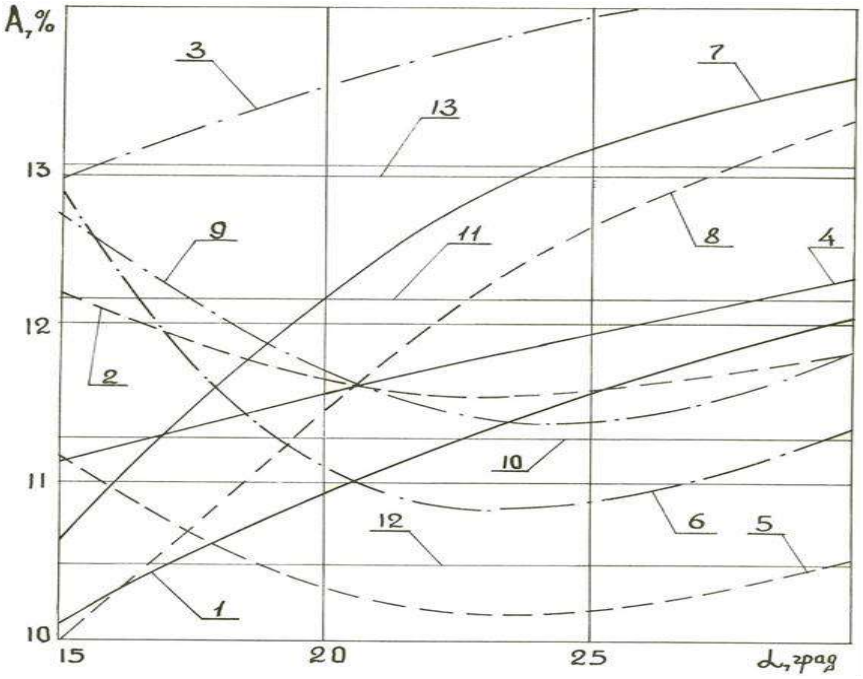


Рисунок 5 - Изменение агрегатного состава почвы (А) с шириной захвата рабочего органа плоскореза (В), угла атаки дисковых батарей (α) и коэффициента подтормаживания игольчатых дисков (К).

Положительная роль данного орудия заключается в выравнивании обработанной поверхности. После прохода плуга без бороны и катков образуется гребнистость в 112мм (рисунок 6 а).

Обработка этого же участка игольчатыми рабочими органами снижает гребнистость до 30 мм, то есть в 3,7 раза (рисунок 6 б)

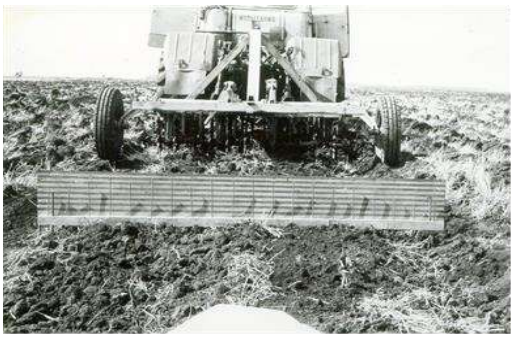
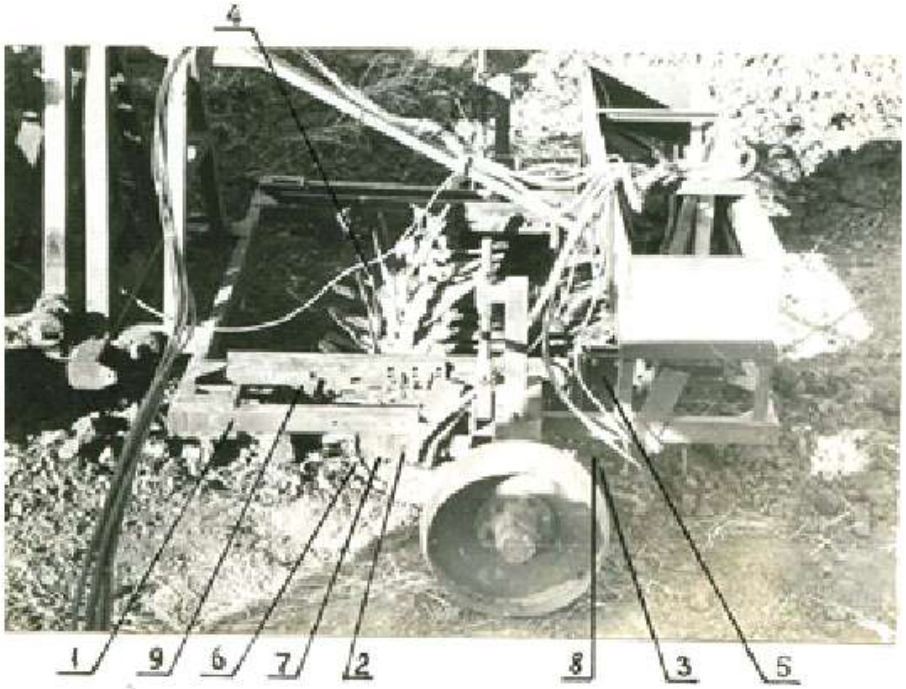
а б 

Рисунок 6 – Гребнистость поля после обработки: а - плугом ПН-4-35,
б - после прохода орудия с игольчатыми рабочими органами при К = 1,5.

По результатам полевых испытаний игольчатых рабочих органов с подтормаживанием можно сделать однозначный вывод о необходимости уточнения конструктивно режимных параметров и формы рабочих органов орудия.

Для этого была изготовлена лабораторно-полевая установка (рисунок 7).



1 – рама; 2 – передний вал; 3 – задний вал; 4 – сменные рабочие органы; 5 – кронштейн; 6 – цепная передача; 7 – передняя звездочка; 8 – задняя звездочка; 9 – натяжное устройство.

Рисунок 7 - Лабораторно-полевая установка

На переднем валу установлены лопатки шириной 50мм и длинной 280мм, а на втором, поочередно заменяемые, плоские, Г-образные и сегментные (рисунок 8). Валы соединены между собой цепной передачей для установки требуемого коэффициента подтормаживания в наборе имеютмя сменные звездочки для переднего вала с числом зубьев 15,18,21,25,27 и 30. Звездочка второго вала с 10 зубьями установлена жестко. Натяжение цепи регулируется.

Рисунок 8 - Лабораторно-полевая установка со сменными рабочими органами второго вала
а – плоские; б – Г-образные; в – сегментные.

Междисковое расстояние на 124 и 144мм изменялось сменными распорными втулками. Задний вал имеет возможность вертикального перемещения на 30,60 и 90мм.

Каждый рабочий орган диска одного ряда переднего вала повернут на 15^0 и образует винтовое расположение их на валу (рисунок 9).

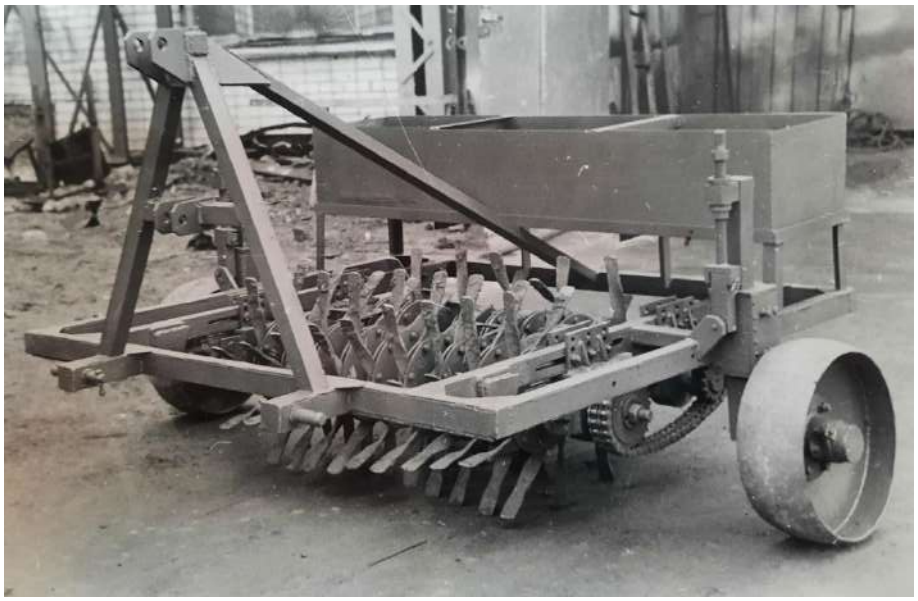


Рисунок 9 – Рабочие органы передней батареи

В результате повышается устойчивое вращение вала. Устранение гребнистости рабочими органами первого вала (лопатка диска с дугообразной режущей кромкой) обеспечивается чередованием поворота рабочей части лопатки вправо и влево на 5°.

Энергетическую оценку рабочих органов по крутящему моменту на валах и тяговому сопротивлению установки (рисунок 10) проводили на вспаханном участке на скоростях 8,10 и 12 км/ч.

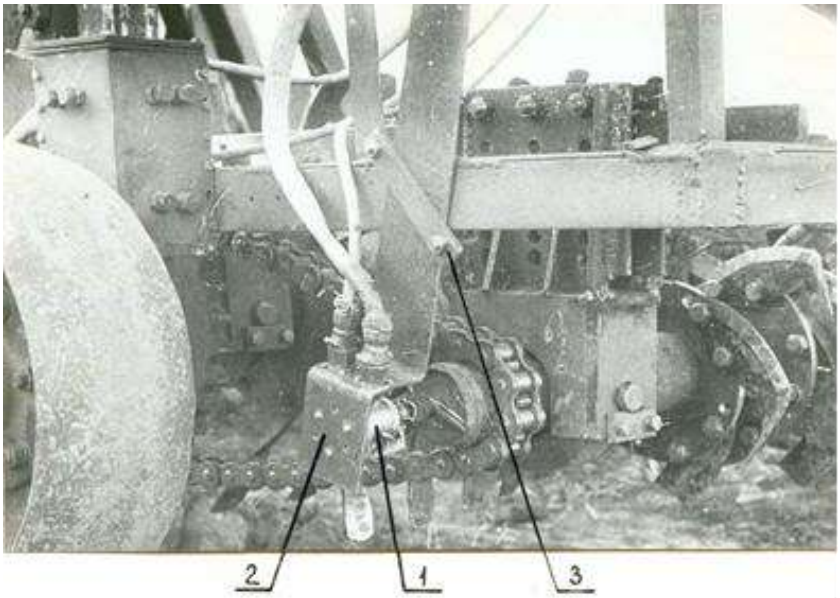


Рисунок 10 - Установка токосъемника
1 – токосъемник; 2 – кронштейн; 3 – хомут.

Анализ обработанных результатов показал, что крутящий момент на измельчающем(втором) валу устойчив и изменяется в пределах 200-850Нм. Плоские рабочие органы оказывают наибольшее сопротивление (550-850Нм), затем сегментные(400-600Нм) и наименьшее Г-образные (рисунок 11).

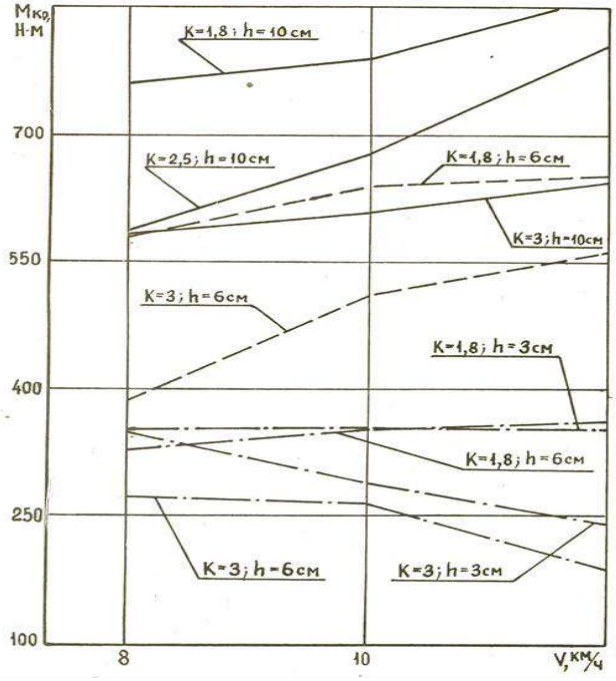


Рисунок 11 - Изменение крутящего момента (Мкр) на втором валу от скорости движения (V) агрегата, коэффициента подтормаживания (К) и типа рабочих органов.

---------- - плоские; _ ._. _. _ ._ - Г-образные; _ _ _ __ - сегментные.

Крутящий момент на первом валу выполняющий попеременно функции рыхлителя и привода второго вала, имеет знакопеременную нагрузку ± 1100Нм. При этом, увеличение коэффициента подтормаживания и поступательной скорости движения агрегата крутящий момент и тяговое сопротивление увеличиваются (рисунок 12).

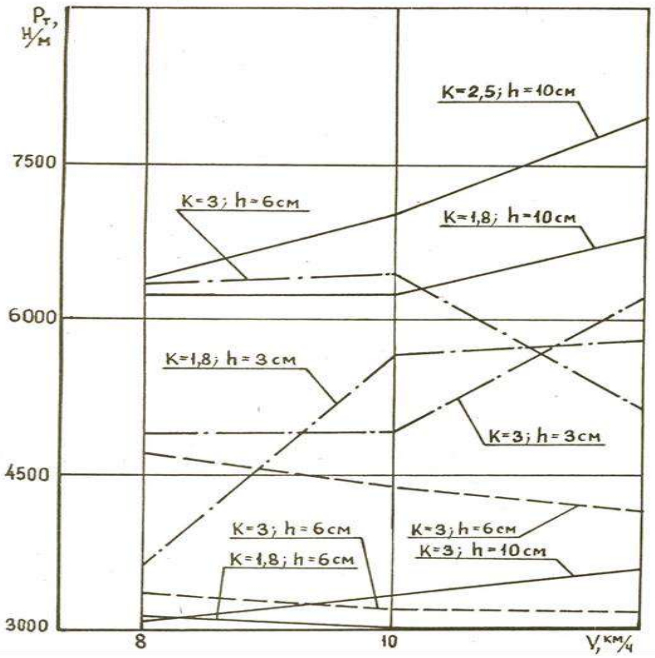


Рисунок 12 - Влияние скорости движения агрегата и коэффициента подтормаживания на удельное тяговое сопротивление.

---------- - плоские; _ ._. _. _ ._ - Г-образные; _ _ _ __ - сегментные.

Наилучшие показатели получены для плоских рабочих органов -2,5-2,7, Г – образных и сегментных – 2,3-2,5. В силу своих небольших размеров рабочих органов второго вала, глубина обработки составляет 40-60мм. Это оказало влияние и на неудовлетворительную очистку рабочих органов переднего вала, т.е. чистички не справляются с забиванием стерней и почвой даже при минимальном межосевом расстоянии валов.

В результате появилось решение в установке рабочих органов в виде лопаток на измельчающем валу и предложении об использовании бесприводного почвообрабатывающего ротационного орудия в варианте машины для предпосевной обработки почвы.

Рассматривается вопрос о продолжении исследований по разработке комбинированного почвообрабатывающего агрегата, сочетающего рыхлящие лапы, ротационные рабочие органы с подтормаживанием и планчатый каток для основной обработки почвы на глубину до 250 мм и предпосевную – до 100мм.

Выводы. 1. Рассматриваемое почвообрабатывающее ротационное орудие соответствует требованиям почвозащитного земледелия.

2. Эффект рыхления и измельчения почвы рабочими органами обеспечивается подтормаживанием валов, соединенных цепной передачей и сменными звездочками, с числом зубьев: на первом валу 18,21,25,27,30, на втором -10.

3. Коэффициент подтормаживания зависимости от агрофона, изменяется в пределах 1,5-2,2. Основной -1,8.

4. Качество предпосевной подготовки почвы выполняется лопатками длинной 280мм с междисковым расстоянием 144мм и минимально возможным расстоянием валов – 600мм.

5. Возможность использования орудия в комбинированных агрегатах.

Список литературы

1. Нарциссов В.П. Научные основы систем земледелия. – М.: Колос, 1982. – 328с.

2. Шварц А. А. Технологии и машины почвозащитной обработки почвы. - Курск: Изд-во КГСХА, 2004. - 216 с.

3. Кувайцев, В. Н. Машины и орудия для обработки почвы / В.Н. Кувайцев. - М.: Бибком, 2013. - 626 с.

4. Глухих М.А., Калетин Г.А., Попов А.П., Оптимальное сочетание способов основной обработки почвы. // Земледелие, 1981, 96с.

5. Черкасов Г. Н, Перспективы использования нулевых и поверхностных обработок в России// Актуальные агросистемы. – 2015. - №7-8 (31). - С. 8-13

6. Шварц А.А., Лукин С.Г, Башкирев А.П., Таныгин О.Ф., Краткий анализ основных технологий и орудий для обработки почвы. // Наука в центральной России. – 2021. - №3 (51). -С. 31-39

7. Шварц А.А., Шварц С.А., Лукин С.Г., Уварова А.Г., Таныгин О.Ф., Динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов игольчатого типа // Наука в центральной России. – 2021. - №6 (54). -С. 39-48

References

1. Narcissov V.P. Scientific foundations of farming systems. - M.: Kolos, 1982– - 328s.

2. Schwartz A. A. Technologies and machines of soil protection tillage. - Kursk: KGSHA Publishing House, 2004. - 216 p.

3. Kuvaytsev, V. N. Machines and tools for tillage / V.N. Kuvaytsev. - M.: Bibkom, 2013. - 626 p.

4. Glukhikh M.A., Kaletin G.A., Popov A.P., Optimal combination of basic tillage methods. // Agriculture, 1981, 96c.

5. Cherkasov G. N., Prospects for the use of zero and surface treatments in Russia// Current agricultural systems. – 2015. - №7-8 (31). - Pp. 8-13

6. Schwartz A.A., Lukin S.G., Bashkirev A.P., Tanygin O.F., A brief analysis of the main technologies and tools for tillage. // Science in Central Russia. – 2021. - №3 (51). - Pp. 31-39

7. Schwartz A.A., Schwartz S.A., Lukin S.G., Uvarova A.G., Tanygin O.F., Dynamics of rotary tillage working organs of needle type // Nauka v tsentralnaya Rossiya. – 2021. - №6 (54). - Pp. 39-48.

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», e-mail: sshwarz@inbox.ru

Сариго Надежда Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г.Курск, e-mail: nadezhda.sarigo@yandex.ru

Лукин Сергей Геннадьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г.Курск, e-mail: gch.2013@mail.ru

Authors credentials

Affiliations

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

Shvarts Sergey Anatolyevich - Candidate of Technical Sciences, Director of Meridian LLC, e-mail: sshwarz@inbox.ru

Sarigo Nadezhda Viktorovna - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: nadezhda.sarigo@yandex.ru

Lukin Sergey Gennadievich - postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: gch.2013@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 21.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 24.03.2022

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-87-98

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ

[1]Ли Роман Иннакентьевич
[2]Псарев Дмитрий Николаевич
[3]Киба Мария Романовна
[1]Мельников Антон Юрьевич
[1]Быконя Андрей Николаевич

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

Реферат. *Восстановление корпусных деталей нанесением эластомерных покрытий устраняет износ отверстий, увеличивает ресурс детали и подшипников, позволяет значительно сократить расходы на ремонт автомобиля. Наполнение наночастицами эластомерной матрицы позволяет существенным образом повысить эксплуатационные свойства материала. Исследовано влияние содержания алюминиевых наночастиц наполнителя, а также режим термической обработки конвективным способом на деформационно-прочностные свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С. Механические свойства пленок нанокомпозита оценивали по методике ГОСТ 14236-81. Это: прочность, относительное удлинение и удельная*

работа разрушения пленок. Оптимальный режим термической обработки нанокомпозита определяли в ходе активного эксперимента по плану второго порядка B_2. Установлено, что зависимости прочности и деформации от содержания наноразмерного наполнителя имеют вид квадратичной функции с экстремумом в виде максимума. Максимальную прочность 21,64 МПа и относительную деформацию 2,4 имеют образцы нанокомпозита при объемном содержании наполнителя 0,02. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя прочность и деформация образцов нанокомпозита уменьшаются до значений 19,2 МПа и 2,03 соответственно. Снижение прочности можно объяснить агрегированием наночастиц наполнителя. Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С, обеспечивающий наиболее высокие механические свойства материала: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок – 0,075 масс.ч. По результатам проведенного многофакторного эксперимента получили регрессионную модель зависимости удельной работы разрушения пленок нанокомпозита от температуры и времени термической обработки конвективным способом. Определен оптимальный режим конвективного нагрева эластомерного нанокомпозита: температура 140,0^{0}С, время 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокую удельную работу разрушения 52,0 МДж/м^3.

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, покрытие, эластомерный нанокомпозит, деформационно-прочностные свойства, состав, термическая обработка.*

OPTIMISATION OF COMPOSITION AND MODE OF THERMAL TREATMENT OF ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE FOR RECOVERY OF EQUIPMENT BODY PARTS

[1]Li Roman
[2]Psarev Dmitry
[3]Kiba Maria
[1]Melnikov Anton
[1]Bykonya Andrew

[1]*FSBEI HE* «Lipetsk State Technical University»
[2]*FSBEI HE* «Michurinsk State Agrarian University
[3]*FSBEI HE* «St. Petersburg State Mining University»

Abstract*. The restoration of body parts by applying elastomeric coatings eliminates wear on the holes, increases the life of the part and bearings, and significantly reduces the cost of repairing the car. The filling of the elastomeric matrix with nanoparticles allows a significant increase in the operational properties of the material. The influence of the content of aluminum filler nanoparticles, as well as the mode of thermal treatment by convective method on the deformation-strength properties of the F-40S elastomer-based nanocomposite were investigated. The mechanical properties of the nanocomposite films were evaluated according to the method of GOST 14236-81. These are: strength, elongation and specific breaking work of films. The optimal heat treatment mode of the nanocomposite was determined during the active experiment according to the second order V2 plan. It has been found that the dependence of strength and deformation on the content of the nanoscale filler has the form of a quadratic function with an extremum in the form of a maximum. The maximum strength of 21.64 MPa and the relative deformation of 2.4 have nanocomposite samples at a fill volume of 0.02. With a further increase in the content of filler, the strength and deformation of the nanocomposite samples decrease to 19.2 MPa and 2.03, respectively. The decrease in strength can be explained by aggregation of filler nanoparticles. The optimal composition of the F-40S elastomer-based nanocomposite was determined, providing the highest mechanical properties of the material: elastomer F-40S - 100 parts by weight, aluminum nanopowder - 0.075 parts by weight. Based on the results of the multifactorial experiment, a regression model of the dependence of the specific destruction work of the nanocomposite films on the temperature and time of thermal treatment by a convective method was obtained. The optimal mode of convective heating of the elastomeric nanocomposite was determined: temperature 40.0 0S, time 3.0 hours, at which the material films have the highest specific fracture operation of 52.0 MJ/m3.*

***Keywords**: recovery, bearing, fit, elastomeric nanocomposite, deformation-strength properties, composition, heat treatment.*

Введение. Основным дефектом, из-за которого выбраковывают корпусные детали автомобилей в ходе ремонта являются изношенные посадочные подшипниковые отверстия [1…8]. Восстановление корпусных деталей нанесением эластомерных покрытий устраняет износ отверстий, увеличивает ресурс детали и подшипников, позволяет значительно сократить расходы на ремонт автомобиля [9…12].

Корпусные детали более эффективно восстанавливаются при использовании перспективных полимерных нанокомпозитов. Наполнение наночастицами эластомерной матрицы позволяет существенным образом повысить эксплуатационные свойства материала [11..17].

Цель исследований – исследовать деформационно-прочностные свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С, наполненного алюминиевыми наночастицами, определить оптимальный состав и оптимальный режим термической обработки (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Материалы и методы. В экспериментальных исследованиях использовали образцы из нанокомпозитов на основе эластомера Ф-40С. Нанокомпозит, наполненный алюминиевым нанопорошком, имел четыре состава с различным содержанием наполнителя: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,025; 0,05; 0,075 и 0,1 масс.ч.;

Образцы для исследований изготовили в виде пленок из нанокомпозита. Размеры пленки: $50\times 10\times 0{,}15$ мм, с расчетной длиной 30 мм. Для термической обработки образцов использовали шкаф сушильный марки СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. Кондиционирование образцов выполняли в условиях стандартной температуры на протяжении 16 ч [18]. При испытаниях образцов использована испытательная машина ИР 5082-50 с постоянной скоростью нагружения 50 мм/мин.

Механические свойства пленок нанокомпозита оценивали по методике ГОСТ 14236-81. Это: прочность σ_P, относительное удлинение ε_P и удельная работа разрушения пленок α_P [19].

Оптимальный режим термической обработки нанокомпозита определяли в ходе активного эксперимента по плану второго порядка B_2 [20]. Функция отклика Y – удельная работа разрушения образцов нанокомпозита α_P, МДж/м^3, независимые факторы: X_1 – температура, ^{0}С, X_2 – время, ч. нагрева конвективным способом. Факторы, уровни и интервалы их варьирования представлены ниже.

Таблица 1 – Факторы с уровнями и интервалами их варьирования

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Температура, °С;	X_1	130	140	150	10
Время, ч.	X_2	2	3	4	1

Результаты исследования. Деформационно-прочностные свойства нанокомпозита эластомера Ф-40С исследовали реализацией серии классических экспериментов. Экспериментальные исследования показали, что с увеличением содержания алюминиевых наночастиц в матрице из эластомера прочность образцов увеличивается. Минимальную прочность $\sigma = 17{,}2 МПа$ образцы имеют при наименьшем объемном содержании наполнителя $\varphi_н = 6{,}6\times 10^{-3}$ (рис. 1). При увеличении содержания наполнителя вдвое до $\varphi_н = 13{,}2\times 10^{-3}$ прочность увеличивается в 1,11 раза до значения $\sigma = 19{,}15 МПа$. Максимальную прочность $\sigma = 21{,}64 МПа$ имеют образцы нанокомпозита с содержанием наполнителя $\varphi_н = 20{,}0\times 10^{-3}$. Прочность образцов при таком составе превышает аналогичный параметр образцов с содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6\times 10^{-3} и 13{,}2\times 10^{-3}$ в 1,26 и 1,13 раза соответственно. При

дальнейшем увеличении содержания наполнителя до значения $\varphi_н = 26{,}0 \times 10^{-3}$ прочность образцов нанокомпозита уменьшается до значения $\sigma = 19{,}2 МПа$. Снижение прочности можно объяснить агрегированием наночастиц наполнителя.

Зависимость деформации образцов нанокомпозита от содержания алюминиевых наночастиц показано на рис. 2. Зависимость соответствует квадратичной функции и ее характер подобен зависимости на рис. 1.

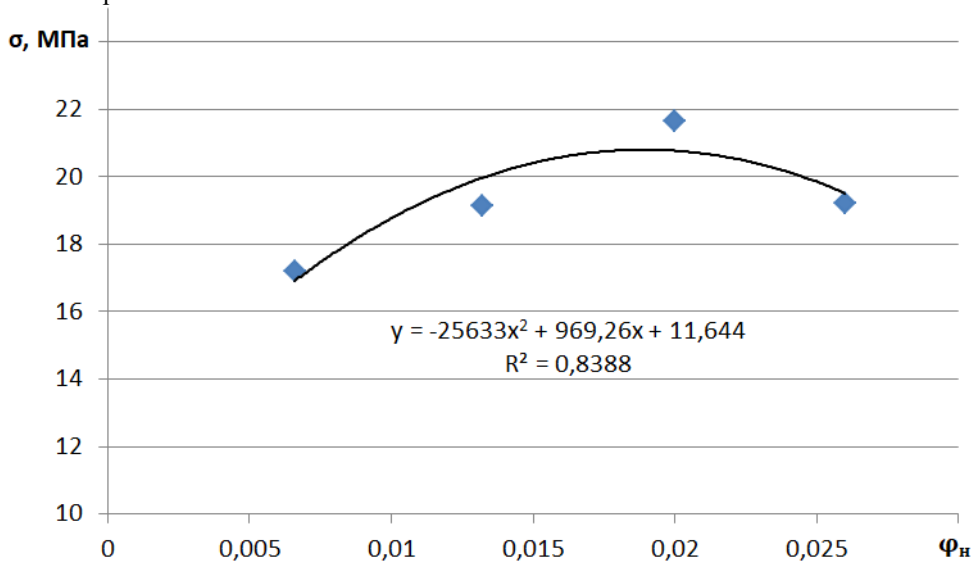


Рисунок 1 - Зависимость прочности σ эластомерного нанокомпозита от содержания алюминиевых наночастиц наполнителя $\varphi_н$

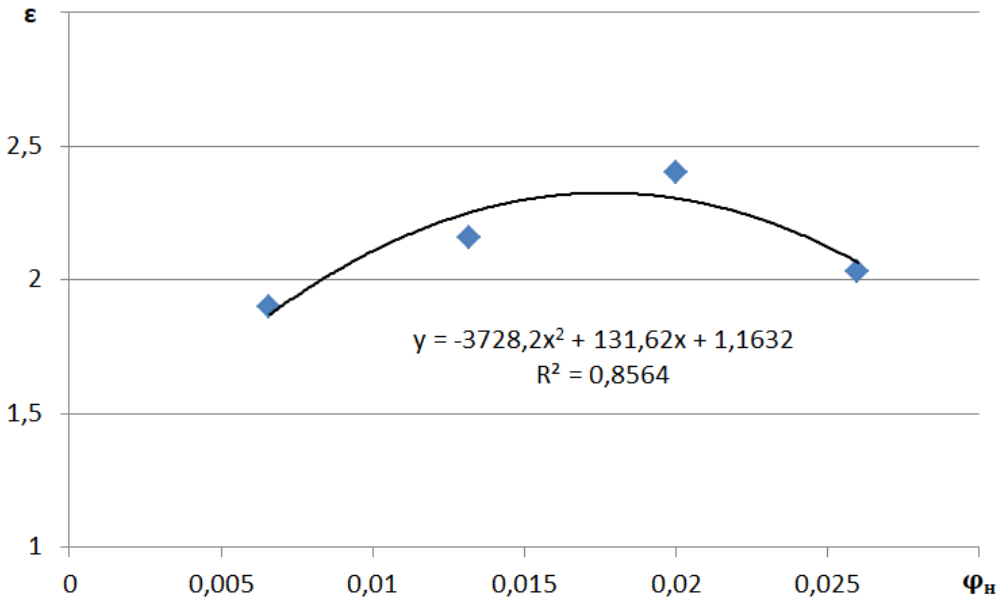


Рисунок 2 -Зависимость деформации эластомерного нанокомпозита ε от содержания алюминиевых наночастиц наполнителя $\varphi_н$

Наименьшую относительную деформацию $\varepsilon = 1{,}9$ имеют образцы с минимальным объемным содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6 \times 10^{-3}$. При увеличении содержания наполнителя вдвое до $\varphi_н = 13{,}2 \times 10^{-3}$ деформация образцов возрастает в 1,14 раза до значения $\varepsilon = 2{,}16$. Наибольшую деформацию $\varepsilon = 2{,}4$ имеют образцы нанокомпозита с содержанием наполнителя $\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$. Деформация образцов с таким составом превышает аналогичный параметр образцов с содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6 \times 10^{-3} и 13{,}2 \times 10^{-3}$ в 1,26 и 1,11 раза соответственно. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя до значения $\varphi_н = 26{,}0 \times 10^{-3}$ деформация образцов нанокомпозита уменьшается до значения $\varepsilon = 2{,}03$. Причина снижения деформации была названа выше – это образование агрегатов наночастиц наполнителя.

Таким образом, наиболее высокие деформационно-прочностные свойства нанокомпозит имеет при следующем составе, который следует считать оптимальным: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч. ($\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$).

В таблице 2 представлены результаты эксперимента по плану второго порядка B_2.

Таблица 2. План эксперимента B_2 и его результаты

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$	$\hat{y}_i$	S_g^2
1	-1	-1	30,578	31,569	30,612	30,92	31,155	0,3164
2	+1	-1	25,821	25,445	24,691	25,32	25,325	0,3311
3	-1	+1	25,842	26,691	26,862	26,46	26,455	0,2984
4	+1	+1	22,573	20,229	21,401	21,4	21,165	1,3736
5	-1	0	46,147	46,814	47,496	46,82	46,59	0,458
6	+1	0	40,789	40,678	40,919	40,8	41,03	0,014
7	0	-1	37,204	36,756	38,038	37,33	37,09	0,4233
8	0	+1	32,035	32,106	33,139	32,42	32,66	0,3818

Проверка воспроизводимости эксперимента

Расчет дисперсии среднего значения:

$$S_1^2 = \frac{(30{,}578 - 30{,}92)^2 + (31{,}569 - 30{,}92)^2 + (30{,}612 - 30{,}92)^2}{3-1} = 0{,}3164$$

$$S_2^2 = \frac{(25{,}821 - 25{,}32)^2 + (25{,}445 - 25{,}32)^2 + (24{,}691 - 25{,}32)^2}{3-1} = 0{,}3311$$

$$S_3^2 = \frac{(25{,}842 - 26{,}46)^2 + (26{,}691 - 26{,}46)^2 + (26{,}862 - 26{,}46)^2}{3-1} = 0{,}2984$$

$$S_4^2 = \frac{(22{,}573-21{,}4)^2 + (20{,}229-21{,}4)^2 + (21{,}401-21{,}4)^2}{3-1} = 1{,}3736$$

$$S_5^2 = \frac{(46{,}147-46{,}82)^2 + (46{,}814-46{,}82)^2 + (47{,}496-46{,}82)^2}{3-1} = 0{,}458$$

$$S_6^2 = \frac{(40{,}789-40{,}8)^2 + (40{,}678-40{,}8)^2 + (40{,}919-40{,}8)^2}{3-1} = 0{,}014$$

$$S_7^2 = \frac{(37{,}204-37{,}33)^2 + (36{,}756-37{,}33)^2 + (38{,}038-37{,}33)^2}{3-1} = 0{,}4233$$

$$S_8^2 = \frac{(32{,}035-32{,}42)^2 + (32{,}106-32{,}42)^2 + (33{,}139-32{,}42)^2}{3-1} = 0{,}3818$$

$$\sum S_g^2 = 0{,}3165 + 0{,}3311 + 0{,}2984 + 1{,}3754 + 0{,}4549 + 0{,}0137 + 0{,}4233 + \\ + 0{,}3817 = 3{,}595$$

Однородность дисперсий оценивали критерием Кохрена [21]. Расчетное значение критерия $G_P = 0{,}382$, а табличное значение – $G_T = 0{,}5612$. Так как табличное значение критерия больше расчетного, дисперсии следует считать однородными.

Далее рассчитали коэффициенты регрессии

$b_0 = +52{,}66$; $b_1 = -2{,}78$; $b_2 = -2{,}215$; $b_{12} = +0{,}135$; $b_{11} = -8{,}85$; $b_{22} = -17{,}785$.

Значимость коэффициентов регрессии оценивали, сравнивая абсолютные значения последних, с значениями соответствующего доверительного интервала:

$$\Delta b_0 = 2{,}12 \cdot 0{,}1871 = 0{,}3967 < b_0 = +52{,}66;$$
$$\Delta b_1 = \Delta b_2 = 2{,}12 \cdot 0{,}025 = 0{,}053 < b_1 = -2{,}78 \text{ и } < b_2 = -2{,}215;$$
$$\Delta b_{12} = 2{,}12 \cdot 0{,}0374 = 0{,}0793 < b_{12} = +0{,}135;$$
$$\Delta b_{11} = \Delta b_{22} = 2{,}12 \cdot 0{,}1123 = 0{,}2381 < b_{11} = -8{,}85 \text{ и } < b_{22} = -17{,}785$$

Так как доверительные интервалы меньше по абсолютному значению чем коэффициенты регрессии, последние следует считать значимыми.

Уравнение регрессии с кодированными значениями факторов

$$У = +52{,}66 - 2{,}78X_1 - 2{,}215X_2 + 0{,}135X_1X_2 - 8{,}85X_1^2 - 17{,}785X_2^2$$

Уравнение регрессии с натуральными значениями факторов

$$У = -1790{,}77 + 24{,}4615x_1 + 102{,}605x_2 + 0{,}0135x_1x_2 - 0{,}0885x_1^2 - 17{,}785x_2^2$$

Значения отклика в точках плана, рассчитанные по уравнению регрессии:

$\hat{y}_1 = 31{,}155$; $\hat{y}_2 = 25{,}325$; $\hat{y}_3 = 26{,}465$; $\hat{y}_4 = 21{,}165$;

$\hat{y}_5 = 46{,}59$; $\hat{y}_6 = 41{,}03$; $\hat{y}_7 = 37{,}09$; $\hat{y}_8 = 32{,}66$.

Выборочная дисперсия S^2

$$S^2 = \frac{(30{,}92-31{,}155)^2 + (25{,}32-25{,}325)^2 + (26{,}46-26{,}465)^2 + (21{,}4-21{,}165)^2 + (46{,}82-46{,}59)^2 + (40{,}8-41{,}03)^2 + (37{,}33-37{,}09)^2 + (32{,}42-32{,}66)^2}{(8-6)} = 0{,}1659$$

Для оценки адекватности уравнения регрессии использовали критерий Фишера.

Регрессионная модель является адекватной при выполнении условия

$$F_P < F_T \,. \tag{1}$$

$$F_T = 3{,}63\,;\; F_P = 1{,}1076$$

$$F_P = 1{,}1076 < F_T = 3{,}63$$

Неравенство (1) выполняется, поэтому модель можно считать адекватной.

Условие работоспособности регрессионной модели имеет вид

$$R^2 > 0{,}75\,, \tag{2}$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

$$R^2 = \frac{3\cdot[(30{,}92-32{,}68)^2+(25{,}32-32{,}68)^2+(26{,}46-32{,}68)^2+(21{,}4-32{,}68)^2+}{3\cdot[(30{,}92-32{,}68)^2+(25{,}32-32{,}68)^2+(26{,}46-32{,}68)^2+(21{,}4-32{,}68)^2+}$$

$$\frac{+(46{,}82-32{,}68)^2+(40{,}8-32{,}68)^2+(37{,}33-32{,}68)^2+(32{,}42-32{,}68)^2-(8-6)\cdot 1{,}1076]}{+(46{,}82-32{,}68)^2+(40{,}8-32{,}68)^2+(37{,}33-32{,}68)^2+(32{,}42-32{,}68)^2]+8(3-1)\cdot 0{,}4495} =$$

$$= \frac{1525{,}6287}{1539{,}4663} = 0{,}9910$$

Значение коэффициента детерминации составляет $R^2 = 0{,}991 > 0{,}75$. Неравенство (2) выполняется, поэтому регрессионную модель можно считать работоспособной.

На рисунке 3 показана поверхность функции отклика.

Для определения координат точки экстремума функции отклика взяли частные производные по каждому фактору из системы уравнений, с последующим приравниванием полученных выражений к нулю.

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dx_1} = b_1 + b_{12}\cdot x_2 + 2\cdot b_{11}\cdot x_1 = 0 \\ \dfrac{dy}{dx_2} = b_2 + b_{12}\cdot x_1 + 2\cdot b_{22}\cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

$$У = -1790{,}77 + 24{,}4615x_1 + 102{,}605x_2 + 0{,}0135x_1x_2 - 0{,}0885x_1^2 - 17{,}785x_2^2$$

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dx_1} = 24{,}4615 + 0{,}0135\cdot x_2 - 2\cdot 0{,}0885\cdot x_1 = 0 \\ \dfrac{dy}{dx_2} = 102{,}605 + 0{,}0135\cdot x_1 - 2\cdot 17{,}785\cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

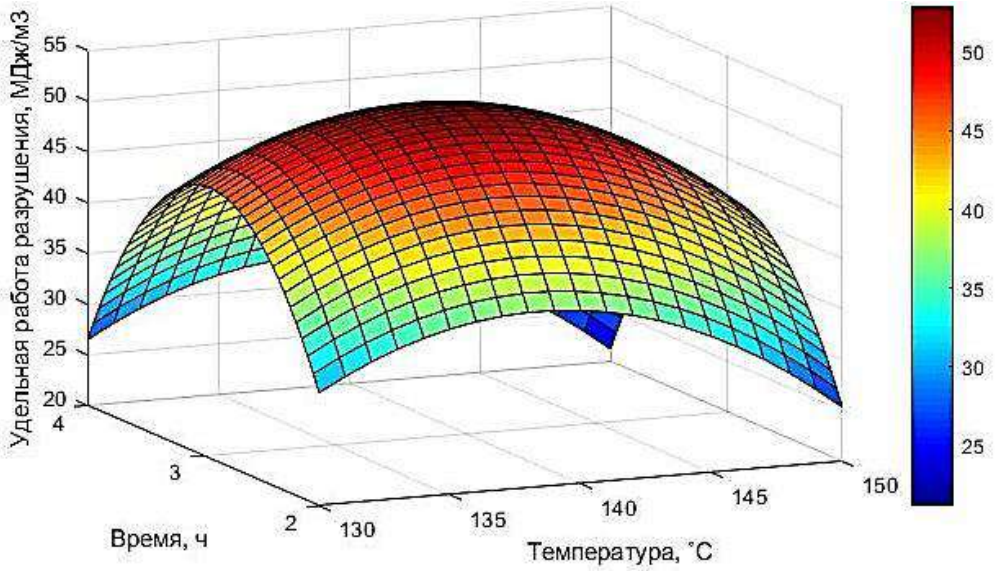


Рисунок 3 – Поверхность функции отклика

После решения вышеприведенной системы уравнений получили координаты точки экстремума функции отклика x_{1S} = 138,42^{0}С, x_{2S} = 2,9372 ч. После подстановки значений координат точки экстремума в уравнение регрессии получен экстремум функции отклика y_S = 52,9486 МДж/м^3.

Далее канонически преобразовали регрессионную модель.

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - 52{,}9486 = -0{,}0885 \cdot X_1^2 - 17{,}785 \cdot X_2^2$$

Для построения двумерного сечения поверхности отклика, составлена вспомогательная таблица 3 с координатами основных точек изолиний сечения.

Таблица 3. Координаты основных точек изолиний двумерного сечения поверхности отклика

Отклик Y	Фактор X_1, ^{0}С	Фактор X_2, ч
1	2	3
52,9486	0	0
52,0	± 0,3,27	0
52,0	0	± 0,23
51,5	± 4,04	0
51,5	0	± 0,28
51,0	± 4,69	0
51,0	0	± 0,33
50,5	± 5,26	0
50,5	0	± 0,371
50,0	± 5,889	
50,0	0	± 0,407

На рисунке 4 показано двумерное сечение поверхности отклика.

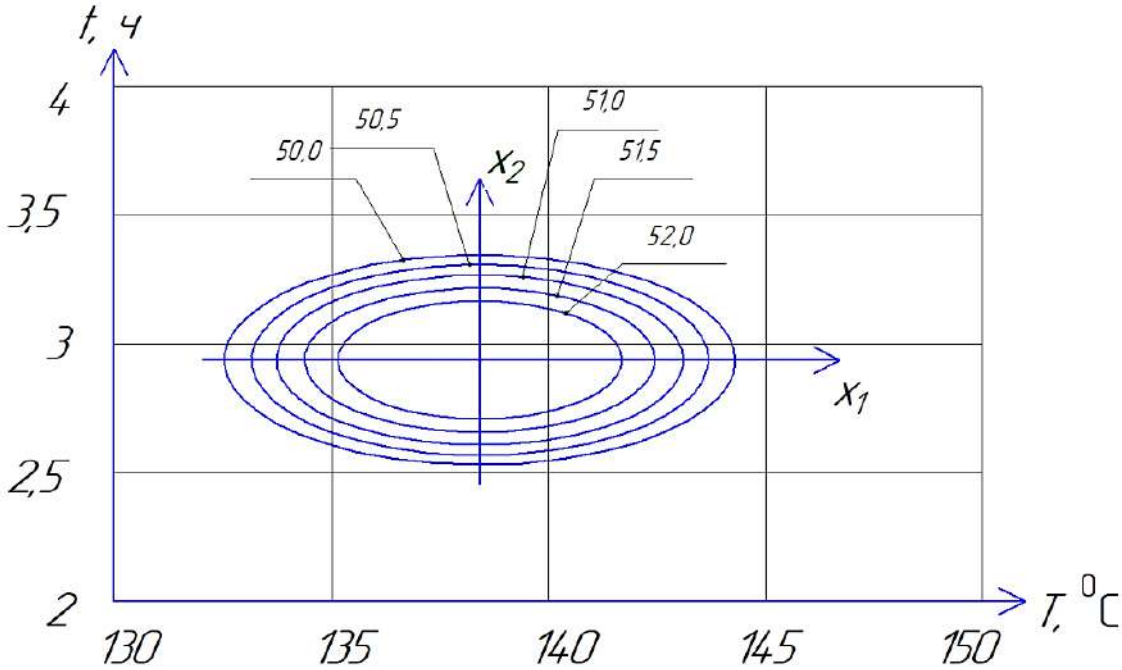


Рисунок 4 - Двумерное сечение поверхности отклика

Максимум удельной работы разрушения y_S = 52,9486 МДж/м^3 наблюдается у образцов нанокомпозита после термической обработки по режиму: температура T = 138,42^{0}C, время t = 2,9372 ч.

Ближайшая к экстремуму изолиния не значительно отличается от максимума функции отклика y_S = 52,9486 МДж/м^3 и имеет значение y_S = 52,0 МДж/м^3. По этой причине выбрали значения факторов, удобные в технологическом плане, и принятые как оптимальный режим термической обработки T = 140,0^{0}C, время t = 3,0 ч.

Выводы

1. Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С при котором материал имеет наиболее высокие деформационно-прочностные свойства: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч. ($\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$)

2. Получена регрессионная модель зависимости удельной работы разрушения $\alpha_р$ пленок нового нанокомпозита от температуры и времени термической обработки конвективным способом.

3. Определен оптимальный режим термической обработки эластомерного нанокомпозита: температура T = 140,0^{0}C, время t = 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокие деформационно-прочностные свойства, α_P = 52,0 МДж/м^3

Список литературы

1. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.

3. Коломейченко, А.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе

применения микродугового оксидирования / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16-21.

4. Курчаткин, В. В., Тельнов, Н. Ф., Ачкасов, К. А., Батищев, А. Н. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. 776 с.

5. Ли, Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники [Текст] / Р.И. Ли // Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.

6. Башкирцев, В. Н. Восстановление деталей машин и оборудования адгезивами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Башкирцев В. Н. – М., 2004, – 397 с.

7. Дёмин, В. Е. Совершенствование технологии восстановления сопряжений опор корпусных деталей с подшипниками качения применением композиционных анаэробных материалов (на примере корпуса КП трактора Т-150К): автореф. дис… канд. техн. наук. / Дёмин В. Е. – Саратов, 2007. – 19 с.

8. Кричевский, М. Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / Кричевский М. Е.; - М.: Росагропромиздат, 1988. – 143 с.

9. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.

10. Машин, Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.

11. Кирсанов, Ф. А. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015. – 181 с.

12. Колесников, А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. – 179 с.

13. Киба, М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.

14. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. − 224 с.

15. R. I. Li, D. N. Psarev, A. N. Bykonya. A Mathematical Model of Infrared Heating of Auto Body Parts during Restoration by a Polimer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 172-176.

16. R. I. Li, Yu. N. Rizaeva, D. N. Psarev and A. N. Bykonya. Calculation of Structural and Operational Parameters of a Facility for Infrared Heating of Base Parts during Restoration with a Polymer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 4, pp. 387-390.

17. Псарев Д.Н. Полимерный нанокомпозит для восстановления посадок подшипников качения автомобилей / В.А. Малюгин, Д.Н. Псарев, А.В. Бутин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №3 (62) – С. 34-40.

18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

19. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

20. Крассовский, Г. И. Планирование эксперимента / Крассовский Г.И., Филаретов Г.Ф. ; - Мн.: Изд-во БГУ им. Ленина, 1982. – 302 с.

21. Ли, Р. И. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.

References

1. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.

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

4. Курчаткин, В. В., Тельнов, Н. Ф., Ачкасов, К. А., Батищев, А. Н. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. 776 с.

5. Ли, Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники [Текст] / Р.И. Ли // Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.

6. Башкирцев, В. Н. Восстановление деталей машин и оборудования адгезивами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Башкирцев В. Н. – М., 2004, – 397 с.

7. Дёмин, В. Е. Совершенствование технологии восстановления сопряжений опор корпусных деталей с подшипниками качения применением композиционных анаэробных материалов (на примере корпуса КП трактора Т-150К): автореф. дис… канд. техн. наук. / Дёмин В. Е. – Саратов, 2007. – 19 с.

8. Кричевский, М. Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / Кричевский М. Е.; - М.: Росагропромиздат, 1988. – 143 с.

9. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.

10. Машин, Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.

11. Кирсанов, Ф. А. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015. – 181 с.

12. Колесников, А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. – 179 с.

13. Киба, М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.

14. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. − 224 с.

15. R. I. Li, D. N. Psarev, A. N. Bykonya. A Mathematical Model of Infrared Heating of Auto Body Parts during Restoration by a Polimer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 172-176.

16. R. I. Li, Yu. N. Rizaeva, D. N. Psarev and A. N. Bykonya. Calculation of Structural and Operational Parameters of a Facility for Infrared Heating of Base Parts during Restoration with a Polymer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 4, pp. 387-390.

17. Псарев Д.Н. Полимерный нанокомпозит для восстановления посадок подшипников качения автомобилей / В.А. Малюгин, Д.Н. Псарев, А.В. Бутин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №3 (62) – С. 34-40.

18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

19. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

20. Крассовский, Г. И. Планирование эксперимента / Крассовский Г.И., Филаретов Г.Ф. ; - Мн.: Изд-во БГУ им. Ленина, 1982. – 302 с.

21. Ли, Р. И. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.

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, email: psarev_380@mail.ru

Киба Мария Романовна – кандидат технических наук, ассистент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный горный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, damsel_91@mail.ru.

Мельников Антон Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Быконя Андрей Николаевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: loseroff@mail.ru.

Authors credentials

Affiliations

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

Dmitry Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, email: psarev_380@mail.ru

Maria Kiba – Candidate of Technical Science, Assistant of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Mining University”, Russia, St. Petersburg, email: damsel_91@mail.ru.

Anton Melnikov – Post graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Andrew Bykonya – Post graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: loseroff@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.03.2022

УДК 631. 356.44
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106

УСЛОВИЯ РАБОТЫ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ

[1]Гаджиев Парвиз Имранович
[1]Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна
[2]Гаджиев Имран Парвизович
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Реферат. *Качественное выполнение технологического процесса уборки картофеля во многом зависит от процесса сепарации. С целью улучшения процесса сепарации почвенно-клубненосной массы и уменьшения повреждения клубней в работе предложен сепарирующий элеватор с очищающими обрезиненными лопастями. Транспортер с прорезиненными лопастями расположен внутри основного и движется против направления движения сепарирующего элеватора.*

Установленные лопасти своим касанием будут очищать просветы прутков от залипания. Качество полноты сепарации картофелеуборочных машин зависит от продолжительности нахождения почвенно-клубненосной массы на рабочей поверхности элеватора. В ходе теоретических исследований аналитически определена относительная скорость движения почвенно-клубненосной массы в зависимости от изменения массы почвенного пласта после взаимодействия лопастей внутреннего транспортера с прутками элеватора. Учитывали диапазон изменения рационального значения скорости элеватора для эллиптических встряхивателей. Проанализированы графики зависимостей относительной скорости движения почвенно-клубненосной массы от кинематических параметров внутреннего транспортера и от сгруженности элеватора. Установлено, что взаимодействие лопастей внутреннего транспортера с прутками элеватора незначительно влияет на скорость движения почвенного пласта. Внутренний транспортер с прорезиновыми лопастями будет очищать просветы между прутками элеватора, не оказывая сопротивления движению почвенно-клубненосной массы на поверхности сепарирующего элеватора, тем самым, улучшается качество сепарации почвы и уменьшиться повреждение клубней.

Ключевые слова: *сепарация почвы, картофелеуборочная машина, элеватор, внутренний транспортер, обрезиненные лопасти.*

SEPARATING ELEVATOR OPERATING CONDITIONS POTATO HARVESTERS ON WET SOILS

[1]Gadzhiev Parviz
[1]Ramazanova Gulbike
[2]Gadzhiev Imran
[1]Federal state-owned publicly-funded institution of higher education "Russian State Agrarian Correspondence University"
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM

Abstract. *The high-quality implementation of the technological process of harvesting potatoes largely depends on the separation process. A separating elevator with cleaning rubber-coated blades is proposed in order to improve the process of separation of the soil-tuberous mass and reduce damage to tubers. The conveyor with rubber blades is located inside the main and moving against the direction of the separating elevator movement. Mounted blades with their touch will clean the lumens of the rods from sticking. The quality of the completeness of the separation of potato harvesters depends on the duration of the presence of the soil-tuberous mass on the working surface of the elevator. In the course of theoretical studies, the relative speed of movement of the soil-tuberous mass was analytically determined depending on the change in the mass of the soil layer after the interaction of the blades of the internal conveyor with the elevator bars. The range of change in the rational value of the elevator speed for elliptical shakers was taken into account. The graphs of the dependences of the relative speed of movement of the soil-tuberous mass on the kinematic parameters of the internal conveyor and on the congestion of the elevator are analyzed. It has been established that the interaction of the blades of the internal conveyor with the bars of the elevator has little effect on the speed of the soil layer. The internal conveyor with rubberized blades will clean the gaps between the bars of the elevator without resisting the movement of soil and tuber mass on the surface of the separating elevator, thereby improving the quality of soil separation and reducing damage to tubers.*

Keywords*: soil separation, potato harvester, elevator, internal conveyor, rubber-coated blades.*

Введение. Возделывание картофеля в настоящее время является значимой отраслью сельского хозяйства. Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации [1], критерием её оценки служит удельный вес продовольствия и сельскохозяйственной продукции в общем объеме товарных ресурсов на внутреннем рынке, в котором картофель должен составлять не менее 95 %. Эффективность возделывания картофеля на прямую зависит еще от качественного выполнения технологического процесса комбайновой уборки картофеля, а именно от процесса сепарации почвы. Наиболее перспективным направлением при создании новых

картофелеуборочных машин является оснащение их различными интенсификаторами, позволяющими усовершенствовать процесс сепарации почвенно-клубненосной массы [2-4]. При работе на переувлажненных почвах с влажностью свыше 23% происходит залипание просветов прутков, при этом ухудшается процесс сепарации и увеличивается повреждение клубней, что приводит к потере урожая.

Технологический процесс сепарации в картофелеуборочном комбайне при уборке картофеля можно рассмотреть, как процесс состоящий из двух стадий:

– непрерывное разрушение крупных (непроходовых) частиц почвы при прохождении до полотна элеватора;

– разрушение комков проходовых частиц в просветах между прутками сепарирующего элеватора.

Методы разрушения почвенных комков в технологическом процессе уборки картофеля можно классифицировать следующим образом (рисунок 1)

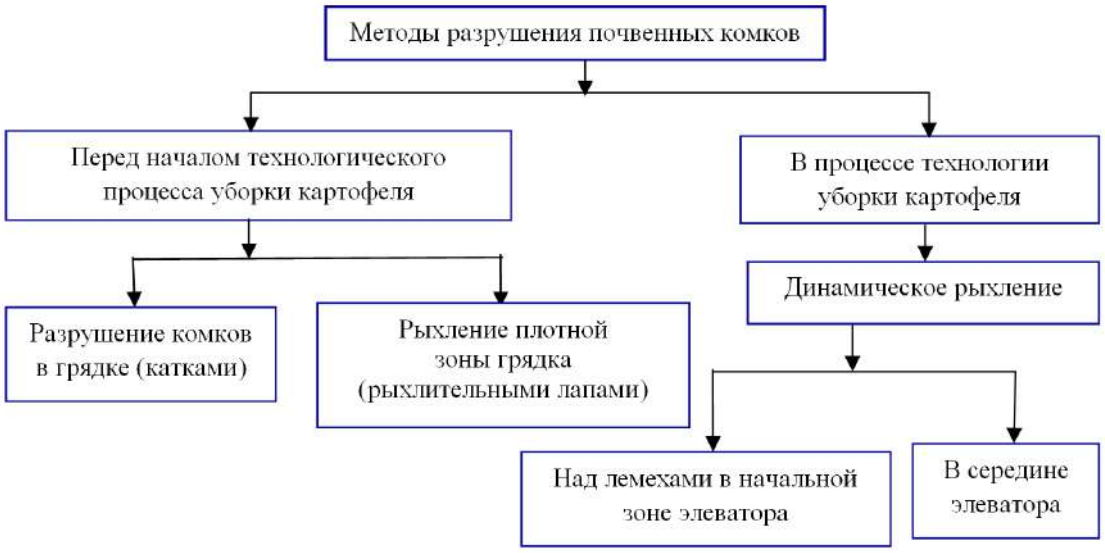


Рисунок 1 – Классификация методов сепарации почвы при уборке картофеля

Картофельный ворох представляет собой совокупность частиц разного размера, причем, чем больше размер частиц картофельного вороха, тем ниже вероятность сепарации. Анализ исследований, имеющихся сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин способствует выявлению перспективных направлений их совершенствования.

Многие авторы для улучшения качества полноты сепарации предлагают разные варианты воздействия на клубненосную массу, это шнеки, ворошилы, некоторые устройства центробежно-выжимного типа. Поскольку все эти устройства работают по принципу механического воздействия на поступающие массы, тем самым приводит к повреждению клубней картофеля [5-7].

Недостатком многих сепарирующих элеваторов картофелеуборочной машины является неудовлетворительное качество сепарирования на полях с тяжелыми почвами, засоренных корневищами и сорняками, особенно при повышенной влажности [8-9].

Полнота сепарации клубней при уборке картофеля во многом зависит от почвенно-климатических условий. В этой части одним из важных факторов выступает влажность почвы. Изменение полноты сепарации почвы в зависимости от влажности было исследовано Сорокиным А.А. (рисунок 2) [10, стр. 52].

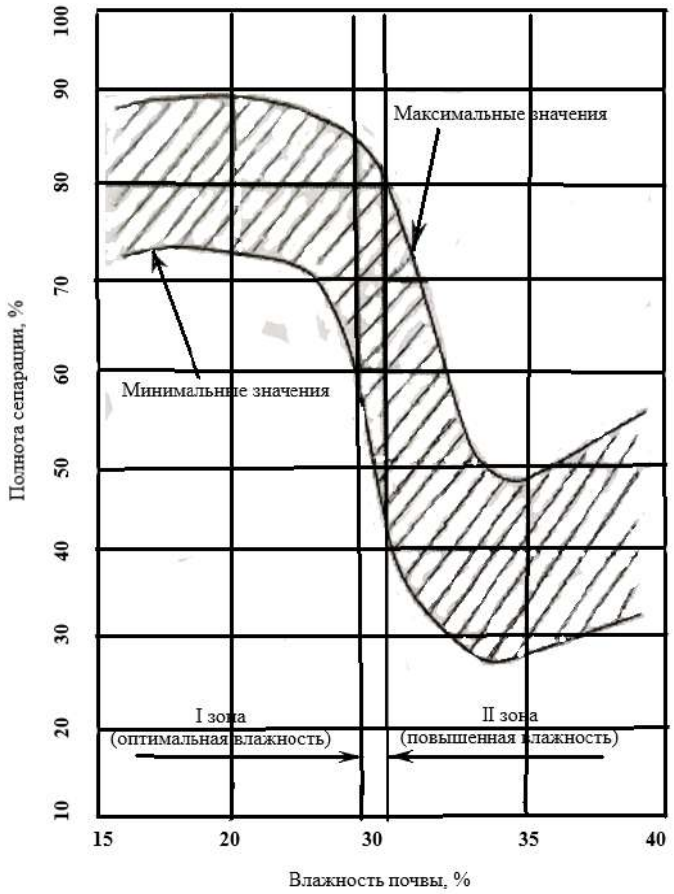


Рисунок 2 – Изменение полноты сепарации в зависимости от влажности

Материалы и методы. С целью улучшения процесса просеивания почвенно-клубненосной массы и уменьшения повреждения клубней предложен сепарирующий элеватор с очищающими обрезиненными лопастями для работы на переувлажненных почвах. Внутри элеватора установлен транспортер с жесткими обрезиненными лопастями, размещенными под углом α (рисунок3).

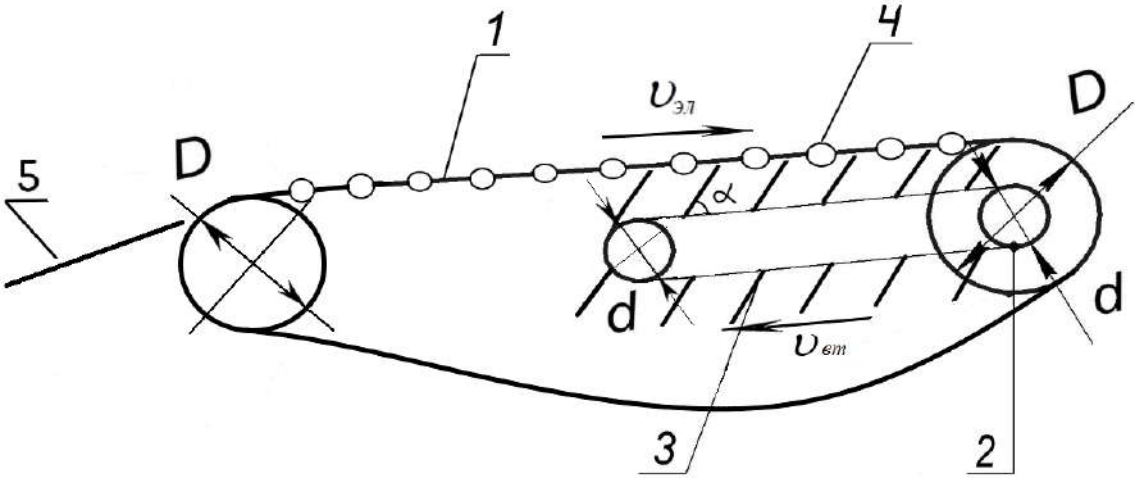


Рисунок 3 – Сепарирующий элеватор картофелеуборочной машины
1 – сепарирующий элеватор, 2 – транспортер с лопастями,
3 – резиновые лопасти,4 – прутки, 5– лемех

Сепарирующий транспортер работает следующим образом. При движении уборочной машины прутковое полотно вращается по часовой стрелке, протаскивая почвенно-клубненосную массу на элеватор для сепарации. Расположенный под сепарирующим элеватором резиновый транспортер вращается внутри элеватора против движения элеватора, тем самым очищает просветы между прутками от залипания, что способствует улучшению сепарации и транспортировки клубненосной массы сепарирующим транспортером уборочной машины.

Для обеспечения качественного очищения от залипания просвета между прутками скорость внутреннего полотна с очищающимися лопастями должна удовлетворять условию $\upsilon_{\text{вт}} < \upsilon_{(min)\text{эл}}$ ($\upsilon_{\text{вт}}$ – скорость внутреннего транспортера, $\upsilon_{(min)\text{эл}}$– минимальная скорость элеватора).

Исследуем взаимодействие очищающих лопастей с прутками элеватора. Взаимодействие лопастей с прутками элеватора ведет очищению просвета прутков элеватора от залипания, тем самым улучшая процесс просеивания почвы.

Так как взаимодействие лопастей с прутками элеватора происходит в течении достаточно короткого промежутка времени, то по теореме об изменении количества движения получим:

$$M\left(\vec{\upsilon}_2 - \vec{\upsilon}_1\right) = \vec{F}\Delta t \qquad (1)$$

где *M*– масса почвенно-клубненосной массы, кг;

$\vec{\upsilon}_1$– скорость движения почвенно-клубненосной массы до взаимодействия лопастей с прутками, м/с;

$\vec{\upsilon}_2$– скорость движения почвенно-клубненосной массы после взаимодействия лопастей с прутками, м/с;

$\vec{F}$ – ударная сила лопасти о пруток за время Δt, Н;

Δt – время соприкосновения лопастей с прутками, с.

До взаимодействия лопастей с прутками почвенно-клубненосный пласт движется по поверхности элеватора со скоростью элеватора $\vec{\upsilon}_{эл}$.

В динамике механической системы для характеристики изменения количества движения за конечный промежуток времени Δt принята физическая величина, импульс силы $\vec{S} = \vec{F}\Delta t$. Из-за неопределенности большой значимости ударной силы за достаточно малый промежуток времени уравнения динамики в терминах сил теряют определенность. Для проведения вычислительных действий при ударе количество движения удобно характеризовать ударным импульсом.

Тогда уравнение (1) в проекциях запишется в виде:

$$M\upsilon_2 - M\upsilon_1 = -F\Delta t$$

$$M\upsilon_2 - M\upsilon_1 = -S\,. \qquad (2)$$

С учетом формулы для ударного импульса:

$$S = \frac{Mm(1+k)}{M+m}\left(\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт}\right),$$

где *M*– масса почвенно-клубненосной массы, кг;

m – масса очищающей лопасти, кг;

$\upsilon_{эл}$ – скорость движения элеватора также и почвенно-клубненосной массы, м/с;

$\upsilon_{дуб}$ – скорость движения транспортера с очищающими лопастями, м/с;

k – коэффициент восстановления, определяемый по формуле [11]:

$$k = \frac{\upsilon'_{эл} - \upsilon'_{вт}}{\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт}}\,,$$

где $\upsilon'_{эл}$ – скорость движения элеватора после взаимодействия, м/с;

$\upsilon'_{вт}$ – скорость движения транспортера с очищающими лопастями после взаимодействия, м/с.

С учетом взаимодействия лопастей внутреннего резинового транспортера, движущегося со скоростью $\upsilon_{вт} = \frac{1}{2}\omega_{вт}d$ с прутками элеватора (почвенно-клубненосной массой), формулу (2) можно записать в виде:

$$M\upsilon_2 - M\upsilon_1 = -\frac{Mm(1+k)}{M+m}(\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт});$$

$$\upsilon_2 = \upsilon_1 - \frac{m(1+k)}{M+m}(\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт}). \quad (3)$$

Так как $\vec{\upsilon}_{эл} = \vec{\upsilon}_1$, имеем:

$$\upsilon_2 = \upsilon_{эл} - \frac{m(1+k)(\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт})}{M+m}. \quad (4)$$

Для абсолютно упругих тел коэффициент восстановления k=1. Считая обрезиненные прутки элеватора и лопасти внутреннего транспортера абсолютно упругими, формулу (4) запишем в виде:

$$\upsilon_2 = \upsilon_{эл} - \frac{2m(\upsilon_{эл} + \upsilon_{вт})}{M+m}. \quad (5)$$

Рабочую ветвь пруткового элеватора встряхивают с целью интенсификации процесса просеивания почвы. Для этой цели служат специальные встряхиватели, имеющие вид эллиптических звездочек, находящихся в зацеплении с цепью элеватора.

Качество полноты процесса сепарации картофелеуборочных машин зависит от скорости движения полотна элеватора, соответственно, от продолжительности нахождения почвенно-клубненосной массы на рабочей поверхности элеватора.

Для определения нижнего предела скорости движения полотна элеватора необходимо учесть также сгруживаемость элеватора почвенно-клубненосной массой:

$$\upsilon_{эл} \geq \frac{\upsilon_м}{\cos\alpha_{эл}},$$

$\upsilon_м$ – скорость движения картофелеуборочной машины, м/с;

$\alpha_{эл}$ – угол наклона элеватора, градус.

При слишком больших значениях скорости элеватора, почвенный пласт не успевает полностью просеиваться, происходит повреждение клубней.

Петровым Г.Д. для определения минимальной скорости полотна элеватора с эллиптическими встряхивателями была предложена формула (6)

$$\upsilon_{min} = \sqrt{\frac{ga}{(1-k^2)}}, \quad (6)$$

где a – радиус большой оси эллипса,

к $= \frac{b}{a}$ – коэффициент, учитывающий свободные колебания полотна,

b – радиус малой оси эллипса.

Для эллиптических встряхивателей рациональная скорость движения полотна элеватора изменяется в пределах 1,5…2,5 м/с.

Результаты и их обсуждения. Рассчитаем скорость движения почвенно-клубненосной массы в зависимости от изменения массы почвенного пласта после взаимодействия лопастей внутреннего транспортера с прутками элеватора на основании выражения (5) с учетом диапазона изменения рационального значения скорости элеватора для эллиптических встряхивателей.

На рисунке 4 показан график зависимости скорости движения почвенно-клубненосной массы от ее массы при взаимодействии лопастей транспортера с прутками элеватора. А на рисунке 5 - график зависимости скорости движения почвенно-клубненосной массы от скорости движения внутреннего транспортера

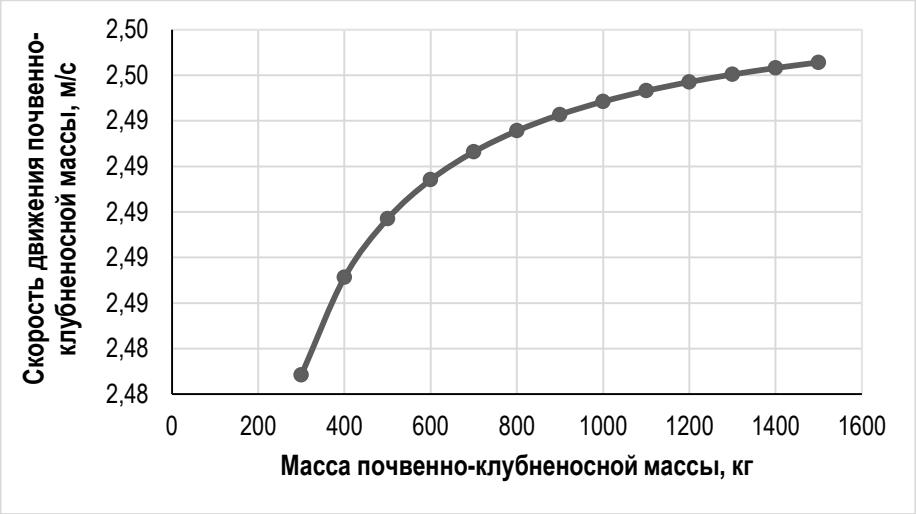


Рисунок 4 – Зависимость скорости движения почвенно-клубненосной массы от ее массы при взаимодействии лопастей транспортера с прутками элеватора

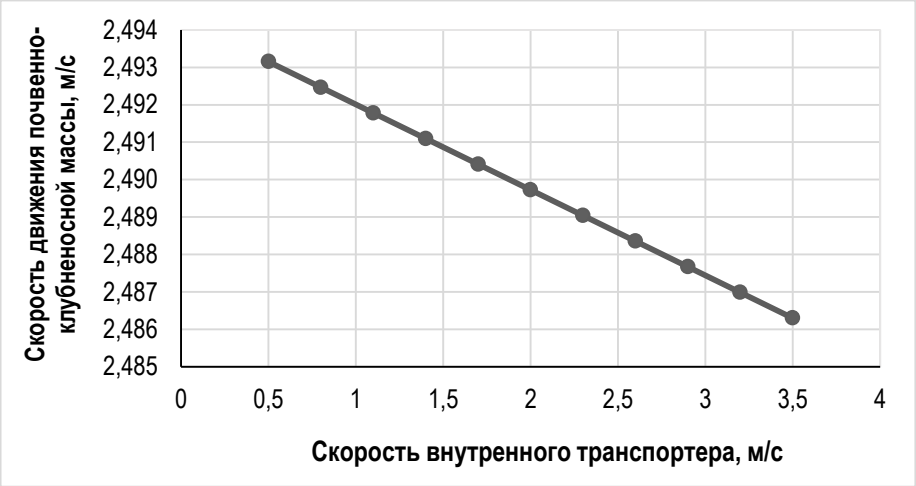


Рисунок 5 – Зависимость скорости движения почвенно-клубненосной массы от скорости движения внутреннего транспортера

Из полученных графиков видим, что взаимодействие лопастей внутреннего транспортера с прутками элеватора незначительно влияет на скорость движения почвенного пласта.

Анализ графика зависимости скорости движения почвенно-клубненосной массы от скорости движения внутреннего транспортера показывает, что изначально заданное условие $\upsilon_{\text{вт}} < \upsilon_{(min)\text{эл}}$ удовлетворено.

Выводы.

Таким образом, можно сделать вывод, что внутренний транспортер с прорезиновыми лопастями будет очищать просветы между прутками элеватора, не оказывая сопротивления движению почвенно-клубненосной массы на поверхности элеватора.

Список литературы

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf (дата обращения: 10.04.2022).

2. Исследование крошения почвы при её предпосадочной подготовке к последующей комбайновой уборке картофеля / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, М.С. Шикалов, А.И. Алексеев// Техника и оборудование для села. 2019. № 4. С. 20–23.

https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-4-20-23

Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Манаенков К.А. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля // Наука в центральной России, 2020. №4(46). С. 33-40. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

Повышение эффективности сепарации картофелеуборочных машин с применением дискового ворошителя / Н.Г. Байбобоев, Ш.Б. Акбаров, П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 35-39. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-35-39.

Обоснование параметров комкоразрушающего битерного барабана машины для предпосадочной подготовки почвы к комбайновой уборке картофеля / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, М.С. Шикалов, А.И. Алексеев // Техника и оборудование для села. 2019. № 8 (266). С. 15-18. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-15-18

Kostenko M.Yu., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N. et al. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019; 422: 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012032.

Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M. K. Edrris, K. A. Al-Gaadi, A. A. Hassaballa [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. – Vol. 13, Issue 2. – Pp. 163–167. – URL: https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/ view/4818/pdf (датаобращения: 08.04.2022)

Siberev A.V. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers // Research in Agricultural Engineering. 2019. № 3. S. 85-90 DOI: 10.17221/96/2018-RAE

Abedi G., Abdollahpour S., Bakhtiari M. R. Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods // International Journal of Vegetable Science. 2019. Vol. 25, no. 1. P. 87–94. DOI: https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1478920

Сорокин А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин: монография. М.: Издательство ВИМ, 2006. 158 с.

Лейбович М.В. Теория удара в задачах и примерах: учеб. пособие / [науч. ред. Е. Л. Маркова]. Хабаровск: Издательство Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 236 с.

References

Doktrina prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf (data obrashcheniya: 10.04.2022).

Issledovaniye krosheniya pochvy pri yeyo predposadochnoy podgotovke k posleduyushchey kombaynovoy uborke kartofelya / P.I. Gadzhiyev, G.G. Ramazanova, M.S. Shikalov, A.I. Alekseyev // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2019. № 4. S. 20–23. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-4-20-23

Gadzhiyev P.I., Ramazanova G.G., Manayenkov K.A. Povysheniye effektivnosti obrabotki pochvy dlya kombaynovoy uborki kartofelya // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2020. №4(46). S. 33-40. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

Povysheniye effektivnosti separatsii kartofeleuborochnykh mashin s primeneniyem diskovogo voroshitelya / N.G. Bayboboyev, SH.B. Akbarov, P.I. Gadzhiyev, G.G. Ramazanova // Agroinzheneriya. 2022. T. 24. № 1. S. 35-39. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-35-39.

1. Obosnovaniye parametrov komkorazrushayushchego biternogo barabana mashiny dlya predposadochnoy podgotovki pochvy k kombaynovoy uborke kartofelya / P.I. Gadzhiyev, G.G. Ramazanova, M.S. Shikalov, A.I. Alekseyev // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2019. № 8 (266). S. 15-18. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-15-18

2. Kostenko M.Yu., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N. et al. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019; 422: 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012032.

3. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M. K. Edrris, K. A. Al-Gaadi, A. A. Hassaballa [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. –

2020. – Vol. 13, Issue 2. – Pp. 163–167. – URL: https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf (data obrashcheniya: 08.04.2022)

4. Siberev A.V. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers // Research in Agricultural Engineering. 2019. № 3. S. 85-90 DOI: 10.17221/96/2018-RAE

5. Abedi G., Abdollahpour S., Bakhtiari M. R. Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods // International Journal of Vegetable Science. 2019. Vol. 25, no. 1. P. 87–94. DOI: https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1478920

6. Sorokin A.A. Teoriya i raschet kartofeleuborochnykh mashin: monografiya. M.: Izdatel'stvo VIM, 2006. 158 s. 11. Leybovich M.V. Teoriya udara v zadachakh i primerakh: ucheb. posobiye / [nauch. red. Ye. L. Markova]. Khabarovsk: Izdatel'stvo Tikhookean. gos. un-ta, 2016. 236 s.

7. Leybovich M.V. Teoriya udara v zadachakh i primerakh: ucheb. posobiye / [nauch. red. Ye. L. Markova]. Khabarovsk: Izdatel'stvo Tikhookean. gos. un-ta, 2016. 236 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Гаджиев Парвиз Имранович – доктор технических наук, профессор, декан факультета электроэнергетики и технического сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха,e-mail: pgadjiev@yandex.ru

8. Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства и водопользования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: gulbike@yandex.ru

9. Гаджиев Имран Парвизович – аспирант, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ Россия, г. Москва, e-mail: imgadjiev@mail.ru

Author credentials

Affiliations

10. Gadzhiev Parviz – PhD in Engineering, Professor, Dean of the Electrical Power Engineering and Technical Service Faculty of the federal state-owned publicly-funded institution of higher education«Russian State Agrarian Correspondence University», Russia, Balashikha,, e-mail: pgadjiev@yandex.ru

11. Ramazanova Gulbike – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering and Water Resources Management of the federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Russian State Agrarian Correspondence University», Russia, Balashikha, e-mail: gulbike@yandex.ru

12. Gadzhiev Imran – Post-graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, Moscow, e-mail: imgadjiev@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 04.04.2022 Принята к публикации (Accepted): 07.04.2022

УДК 631.363.24
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-106-116

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ЖМЫХА ПОДСОЛНЕЧНОГО

[1]***Припоров Игорь Евгеньевич***

[1]*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»*

Реферат. *Измельчение компонентов кормовой смеси и гранулирование– важнейшие операции в технологии кормопроизводства по зоотехническим требованиям. Предметом исследования являются разные конструкции для измельчения белкового корма. Проведено сравнение по патентному поиску конструктивных особенностей измельчителей жмыха подсолнечного и зерна. Установлено, что для измельчения жмыха подсолнечного наиболее широко используются дробилки молоткового типа. Анализ выявил следующие недостатки дробилок молоткового типа:*

большая металло- и энергоемкость, неравномерность гранулометрического состава измельчаемого продукта, большое выделение пылевидной фракции, значительные вращающиеся массы, быстрый износ рабочих органов, нагрев продукта. К достоинствам дробилок относитсякачество процесса дробления. Сделаны следующие выводы. Усовершенствование измельчителей жмыха подсолнечного должно быть направлено на расширение функциональных его возможностей, снижение энергоемкости процесса и повышение качества его измельчения за счет наличия комплекта съемных ножевых блоков, имеющих коленчатые валы с разными шейками для обработки материала с разными физико-механическими свойствами или ножи в виде криволинейного треугольника Арбелоса Архимеда с пилообразными зубьями по периметру всей поверхности режущей кромки, при этом в технологическом процессе участвует вся поверхность режущей кромки ножа и осуществляется скользящее резание.

***Ключевые слова**: белковый корм, измельчитель, жмых подсолнечный, физико-механические свойства материала, ножевые блоки, треугольник Арбелоса Архимеда.*

ANALYSIS OF DESIGNS OF SUNFLOWER CAKE SHREDDERS

[1]***Priporov Igor***

FSBEI of HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"

***Abstract**. Grinding of the components of the feed mixture and granulation are the most important operations in the technology of feed production according to zootechnical requirements. The subject of the study are different designs for grinding protein feed. A comparison was made by patent search of the design features of grinders of sunflower cake and grain. It has been established that hammer-type crushers are most widely used for crushing sunflower cake. The analysis revealed the following shortcomings of hammer-type crushers: high metal and energy consumption, uneven particle size distribution of the crushed product, large release of dusty fraction, significant rotating masses, rapid wear of working bodies, heating of the product. The advantages of crushers include the quality of the crushing process. The following conclusions are made. Improvement of sunflower cake grinders should be aimed at expanding its functionality, reducing the energy intensity of the process and improving the quality of its grinding due to the presence of a set of removable knife blocks with crankshafts with different necks for processing material with different physical and mechanical properties or knives in the form of a curvilinear triangle Arbelos Archimedes with sawtooth teeth along the perimeter of the entire surface of the cutting edge, while the entire surface of the cutting edge of the knife is involved in the technological process and sliding cutting is carried out.*

***Keywords**: protein feed, shredder, sunflower cake, physical and mechanical properties of the material, knife blocks, Arbelos Archimedes triangle.*

Введение. Животноводческая отрасль является важным фактором продовольственной безопасности нашей страны. На уровень его производства главным образом влияет кормовая база, отвечающая потребительским требованиям, приводящая совершенствованию средств механизации процесса их производства и переработки. Важной задачей, которая должна быть решена заключается в повышении уровня механизации производственных процессов и их качества.

В любой технологии производства кормов есть операция измельчения их компонентов. Согласно зоотехническим требованиям, корма должны соответствовать и должны иметь соответствующий гранулометрический состав, обладать усвояемостью и при этом рационально ее использовать [1].

Для того, чтобы повысить питательность их рационов необходимо применять жмых семян масличных культур, например подсолнечника, позволяющий производить его в необходимом количестве и обладать высокой питательностью. Однако при его производстве отсутствуют эффективные средства его подготовки к скармливанию сельхозяйственным животным.

В комбикормовой промышленности и на животноводческих фермах нашло применение разнообразие конструкций измельчителей ударного действия, которым относятся молотковые [3-5] и предназначены для получения зерна в молотом виде. Наибольшее распространение получили дробилки, в которых рабочий процесс закрыт и их преимущество заключается в простоте,

динамичности рабочих режимов, а также в возможности пневматической загрузки и выгрузки полученного материала и т.д. Дробилки для зерна данного типа представляют собой решётными в виде решета и деки, которые охватывают ротор и материал удаляется после измельчения до необходимого размера через его отверстия [1].

Основным недостатком серийных дробилок молоткового типа является их высокая энергоемкость – 5-7 кВт×ч/т, а также производительность их завышена по сравнению с реальными потребностями хозяйств в измельченном жмыхе. По этой причине они загружены лишь на 7%. Их использование для получения разного вида продуктов (зерно, жмых) имеет ряд трудностей, заключающиеся в замене рабочих органов применительно для хозяйств. Для сельских товаропроизводителей выпускаются минидробилки, которые соответствуют основным технико-экономическим требованиям и не приспособлены к измельчению крупнокусковых материалов и имеет высокую энергоемкость – до 40кВт×ч/т [2].

Материалы и методы. Предметом исследования являются разные конструкции дробилок для измельчения жмыха подсолнечного или зерна.

Недостатками их являются низкие показатели качества продукта, производительности и высокие затраты энергии на данный процесс [1].

Коношин И.В., Звеков А.В. [1] предложили дробилку молоткового типа с сегментным решетом (рисунок 1), которая включает следующие элементы: рама 1, камера 2, сегментное решето 3, ротор 5 с молотками 4, корпус 6, бункер 7 загрузочный, заслонка 8, горловины 9, 10 загрузочная и выгрузная, вентилятор 11 и трубопровод 12 всасывающий.

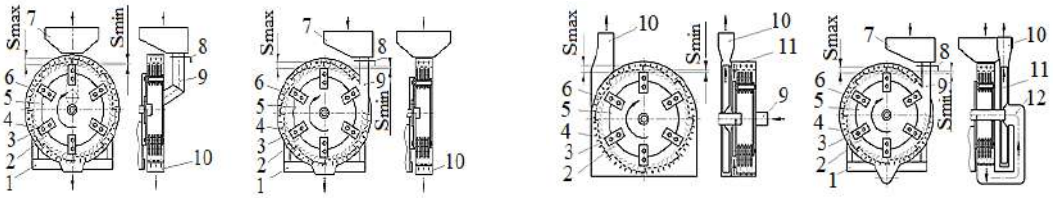


Рисунок 1 – Конструктивно-технологические схемы дробилок молоткового типа с сегментным решетом: *а* – загрузка исходного материала и выгрузка его самотеком; *б* – загрузка его тангенциальная самотеком; *в* – пневмозагрузка-выгрузка его; *г* – загрузка его тангенциальная самотеком; выгрузка его пневматическая

Для снижения энергоемкости процесса получения однородного гранулометрического его состава был разработан измельчитель для зерна центробежного типа (патент РФ № 2147462), который имеет раму 10, состоящая из корпуса 1 с рабочей камерой. Ротор 2 в рабочей камере имеет два диска, между ними неподвижные лопасти 3 закреплены под углом относительно радиуса. Подвижные лопасти 4 подвешены шарнирно на осях, чтобы при вращении ротора 2 они располагаются по радиусу и позволяет поджатым зерну быть на выходе из клиновидных каналов. Решето 5 расположено в рабочей камере с зазором относительно лопастей 4. Устройство снабжено дозатором 6. Полученное зерно через горловину 7 загрузочную поступает в центр рабочей камеры. Готовый продукт 8 и 9 в бункерах под разгрузочной горловиной 13 измельчается зерно. В выгрузной горловине с помощью заслонки 14, измельчённый материал подается в рукав его отвода [6].

А.И. Завражнов и др. [7] на основе дробилки зерна ДБ-5 предложили ее безрешетную для кормов с сепаратором-измельчителем (рисунок 4).

Установка включает следующие элементы: шнековый транспортер 1, загрузочный бункер 2 с дозирующей заслонкой 3, магнитный сепаратор 4, расходомер 5, дробильная камера 6 открытого типа с молотками 7 и деками 8, трубопровод 9. Сепаратор-измельчитель 10 включает жалюзийную решетку 11, разбрасывающую тарелку 12, камеру 13 его отвода, шнек 14 для его вывода [7].

В.И. Сыроватка и др. предложили установку, которая включает узел в виде фракционного измельчения для получения концентрированных кормов (рисунок 5) и работает следующим образом [8].

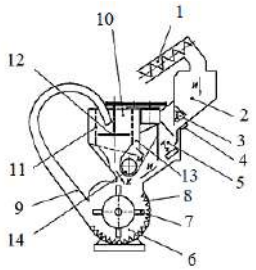
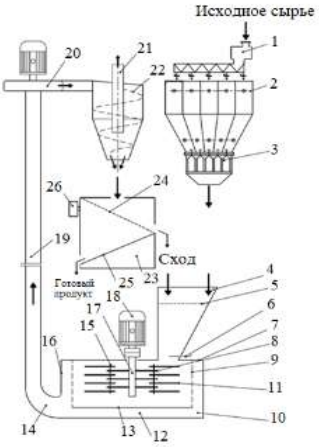


Рисунок 4 – Конструктивно-технологическая схема дробилки безрешетной для кормов с сепаратором-измельчителем [7]



1 – магнитный сепаратор; 2 – приёмные бункеры; 3 – вибродозатор; 4 – загрузочный бункер дробилки; 5 – тканое сито; 6 – регулировочный механизм; 7 – крышка дробилки; 8 – направляющие диски; 9 – цилиндрическое решето; 10 – камера улавливания посторонних предметов; 11 – молотки; 12 – накопительный поддон; 13 – днище дробилки; 14 – коллектор; 15 – ось ротора; 16 – корпус дробилки; 17 – вал ротора; 18 – электродвигатель; 19 – кормопровод; 20 – центробежный вентилятор; 21 – выхлопная труба; 22 – циклон; 23 – сепаратор; 24 – тканое сито; 25 – скатная плоскость; 26 – электровибратор

Рисунок 5 – Установка для фракционного измельчения и производства концентрированных кормов:

Исходное сырье через магнитный сепаратор 1 с помощью распределительного шнека загружают в приемные бункера 2, которые сообщены с электровибродозатором 3. Электродвигатель 18 включается и дробилка дозированно поток ингредиентов подается в загрузочный бункер 4, а посторонние предметы остаются на решете 5. В тот момент, когда регулировочный механизм 6 открыт и отверстия в крышке дробилки 7 поток ее поступает на диски 8 направляющие и ударяют молотками 11, которые установлены на осях 15 и полученный материал отбрасывается на цилиндрическое решето 9. Далее они из нескольких элементов с решета в камере 10 улавливаются, а измельченная смесь из решета, днища дробилки 13, накопительный поддон 12 и корпуса дробилки 16, коллектора 14, с помощью воздушного потока, который создается ротором 17 и усиливается центробежным вентилятором 20 вакуума под действием по кормопроводу 19 она поступает в циклон 22, где происходит отделение смеси от воздуха. Поступают металлические и другие тяжелые частицы накапливаются в накопительном поддоне 12. Через выхлопную трубу 21 отработанный воздух поступает в атмосферу, а смесь измельченная в сепаратор 23 и попадает на вибрирующее решето 24 от электровибратора 26. Сход с него поступает в дробилку для повторного измельчения, а проход в виде кормовой смеси на скатную плоскость 25 в тару, в которой находится готовая кормовая смесь [8].

Обзор научно-технической и патентных источников, который провел П.А. Савиных и др. по исследуемой проблеме показал, что серийные измельчители для зерна обладают недостатками:

увеличенные металло- и энергоемкость, выделение пыли, и содержание вращающихся масс, износ рабочих органов, нагрев продукта, а также неравномерность гранулометрического его состава [9, 10].

В корме содержатся мучнистые фракции, которые способствуют развитию болезней пищеварительного тракта сельскохозяйственного животного и снижению поедаемости, сказывающейся на его весе [10].

Для избежания проблем и снижения затрат на корма, а также создания условий по приготовлению комбикормов в ЛПХ и КФХ У.К. Сабиевым предложено усовершенствовать измельчитель центробежно – роторного типа для зерна (рисунок 6), который работает на срез и скалывание. Преимуществами его является снижения выделение пыли и энергопотребления, а также образование гладкой поверхности его частиц и выровненный состав гранул. Применение его способствует уменьшению затрат энергии при измельчении зерна и улучшает его качество, а также малые габаритные размеры и простота конструкции [10].

Рисунок 6 – Устройство по измельчению зерна центробежно – роторного типа [10]

А.В. Созонтов и др. предложили дробилку (рисунок 7), включающая элементы: загрузочную горловину 1 и выгрузной патрубок 2, дробильную камеру 3 с крыльчатками ротора 4, деками 5 и решетом 6, который охватывает ротор. В свою очередь деки 5 в виде колец, которые находятся между крыльчатками ротора 4. Причем охватывающее его решето 6 и деки 5 создают каналы 7 в виде колец. При этом торцевые поверхности дек 5 рифленые в радиальном направлении [11].

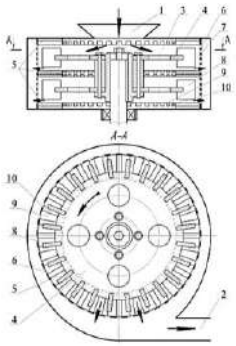


Рисунок 7 – Конструктивно-технологическая схема дробилки: 1 – загрузочная горловина; 2 –патрубок выгрузной; 3 – камера; 4 – крыльчатка ротора; 5 – дека; 6 – решето; 7 – кольцевые каналы; 8 – лопатка; 9 – рифли дек; 10 – паз дек [11]

В связи с экономической ситуацией в стране наметилось производство дробилок малогабаритных и высокоэффективных, применяемые в КФХ и ЛПХ. Молотковые [12] и роторные ударно-истирающего действия наиболее распространены и обладают повышенной энергоемкостью и полученный продукт имеет неоднородный состав [13].

В Саратовском ГАУ имени Н.И. Вавилова, разработанная молотковая дробилка (рисунок 8), позволяет измельчать лузгу масличных и крупяных культур с минимальными энергозатратами [14].

Н. П. Тишанинов, С. Г. Калиниченко, А. В. Анашкин разработали дробилку для всех видов компонентов корма в виде жмыха подсолнечного (рисунок 9). Конструкция ее управляет массообменном в камере и снижает энергозатраты [2].

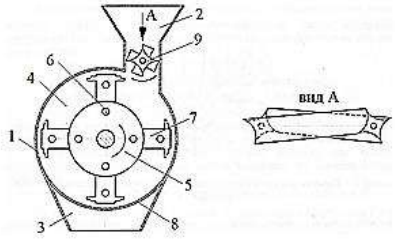


Рисунок 8 – Дробилка молоткового типа для лузги масличных и крупяных культур: 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – выгрузное окно; 4 – камера; 5 – ротор; 6 – палец; 7 – молотки; 8 – решето; 9 – питатель [14]

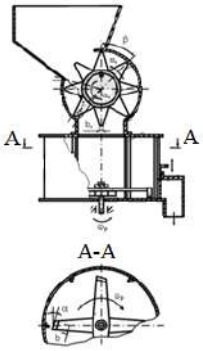


Рисунок 9 – Схема конструктивная дробилки для жмыха подсолнечного

Конструктивные особенности измельчителей жмыха подсолнечного представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Конструктивные особенности измельчителей жмыха подсолнечного

Наименование патента	Описание конструкции	Недостатки	Преимущества
Патент РФ №2297155. Способ и устройство для переработки шрота подсолнечника для корма животных [15, 16]	Шрот подсолнечника измельчают мельница молоткового типа. Затем после измельчения и просеивания на решетах разделяют на две фракции по протеину.	Невысокий выход ее с высоким и низким содержаниями протеина и клетчатки соответственно. В свою очередь они получают корм для животных и небольшой питательной ценностью.	Переработка экстракционного шрота для получения растительного масла. При этом высококачественный белковый корм, который по своей ценности близок к нему из соевых продуктов
Патент РФ № 2268629. Способ удаления оболочек семян из шрота/жмыха подсолнечника и установка для его осуществления [17]	Установка для их удаления содержит устройства измельчения, просеивания и разделения на фракции, а также транспортирования продукции, которые объединены в единую технологическую линию. Дополнительно оно установлено для предварительного измельчения исходного продукта. а Технологическая линия выполнена в виде m≥1, а она из n≥1 блоков измельчения и разделения на фракции.	Неоптимальный гранулометрический состав лузги приводит к переизмельчению в блоках измельчения. Переизмельчение ее проходит через решета и подается высокобелковый продукт, что сопровождается уменьшением и повышением процентного содержания протеина и клетчатки соответственно [14]	Получение его с повышенным содержанием протеина с минимальным содержанием примесей оболочек семян, а также их фракции с минимальными примесями частиц с высоким содержанием протеина

Продолжение таблицы 1

Наименование патента	Описание конструкции	Недостатки	Преимущества
А.с. №184552. Измельчитель кормов, например жмыха [18]	Измельчитель их включают корпус с пакетом подвижных и неподвижных ножей, бункер загрузочный и крыльчатку.	Повышенные энергозатраты при их измельчении.	Интенсификация процесса отбора однородной его фракции.
А.с. №98339. Дробилка для измельчения зерна, жмыха, сена и других продуктов [19]	Дробилка для измельчения зерна, жмыха, сена и других продуктов ротором, который состоит из дисков в виде молотков на валу, который расположен в крышке корпуса.	Повышенные энергозатраты при их измельчении.	Производится замена молотков и ротора без ее разборки.
А.с. № 118933. Способ подготовки форпрессовой ракушки жмыха к экстракции [20]	Форпрессовую ракушку жмыха измельчают в муку. Затем в течении двух минут до подачи в экстрактор увлажняют распылительными форсунками водой до 7-13%.	Большое выделение пылевидной фракции	Увеличения коэффициента экстрагируемости
Патент РФ №129427. Измельчитель жмыха [21]	Измельчитель для жмыха содержит корпус с загрузным и выгрузным патрубками, камеру для измельчения с ротором.	Повышенные энергозатраты при их измельчении.	Повышение его производительности и эффективности, удобства эксплуатации, уменьшение габаритов и энергоемкости.
Патент РФ № 41990. Измельчитель жмыха [22]	Устройство включает камеру для измельчения, выгрузное устройство с решета в виде декой, барабан ножевой, деку с прорезями прямоугольной формы. При этом она имеет разомкнутый П-образный контур в виде пластины, у которого секторной формы угловой размер больше, чем между ножами барабана. Она соединена цилиндрическим кожухом, который расположено концентрично оси барабана с ножами.	Имеет два привода, приводящее к удвоенным энергозатратам, повышенной металлоемкости и ограниченна его мобильности переизмельчению продукта и образованию «мертвого остатка», а также замена трудоемка и вследствие чего простой оборудования.	Повышение его производительности и эффективности, удобства эксплуатации, уменьшение габаритов и энергоемкости.
А.с. №65454. Дробилка [23]	Дробилка с барабаном, который имеет привод и расположен внутри его, статор двигателя соединен с ним, а ротор имеет тормозное приспособление.	Повышенные энергозатраты при их измельчении.	Повышение его КПД, снижениение удельного расхода энергии и экономия в материале
Патент РФ № 33877. Вертикальная молотковая дробилка [24].	Вертикальная дробилка молоткового типа содержит загрузочные патрубки, камеру с решетом, внутри которого расположен ротор, представляющий собой вал из стальных дисков, осей, распорных втулок и молотков в виде прямоугольных металлических пластин с отверстиями по торцам.	Повышенное выделение пыли.	Улучшенный процесс дробления

Исходя из проведенного анализа измельчителей были разработаны и предложено ряд их согласно полученным патентам РФ №№ 2 648 392 [25], 2 693 260 [26].

Для снижения энергоемкости процесса и повышения качества измельчения белкового корма по патентам РФ измельчитель по:

- патенту РФ № 2 648 392 [25,26,27,29] содержал загрузочный бункер, заслонку, корпус, раму, электродвигатель, ротор с дисками, ножевые блоки с ножами в виде плоских геометрических фигур, а также имеет четное количество установленных параллельно в шахматном порядке ножевых блоков с ножами, поверхность режущих кромок, которых выполнена в виде криволинейного треугольника Арбелоса Архимеда с пилообразными зубьями по периметру всей поверхности режущих кромок, высота которых не менее толщины обрабатываемого материала. При этом угол наклона зубьев составляет не более 30°, а зубья ножей последующих ножевых блоков направлены в противоположную сторону от ножей предыдущих ножевых блоков под тем же углом, при этом ножи установлены с возможностью регулирования расстояния между ними в зависимости от размеров обрабатываемого материала;

- патенту РФ №2 693 260 [28] содержал содержащий загрузочный бункер, заслонку, корпус, раму, электродвигатель, ротор с дисками, между которыми установлены ножевые блоки с ножами, а также имеет комплект съемных ножевых блоков. При этом ножевой блок выполнен в виде коленчатого вала, на шейках, которого в шахматном порядке установлены ножи, режущая часть которых имеет серповидную форму и с внешней и внутренней сторон – лезвия, заточены под углом не более 40° с обеих сторон, при этом шейки коленчатых валов ножевых блоков входящие в комплект, имеют разные размеры диаметра от 30 до 60 мм и длины 20 – 40 мм, для обеспечения возможности обработки материала с разными физико-механическими свойствами.

Выводы. Проведенный анализ измельчителей по патентам РФ и в литературных источниках, можно сделать следующие выводы:

1. для измельчения жмыха используются дробилки молоткового типа, у которых высокие удельные энергозатраты процесса его измельчения, а также низкая функциональная возможность и качества его измельчения;

2. усовершенствование измельчителей жмыха подсолнечного должно быть направлено на расширение функциональных его возможностей, снижение энергоемкости процесса и повышение качества его измельчения за счет наличия комплекта съемных ножевых блоков, имеющих коленчатые валы с разными шейками для обработки материала с разными физико-механическими свойствами или ножи в виде криволинейного треугольника Арбелоса Архимеда с пилообразными зубьями по периметру всей поверхности режущей кромки, при этом в технологическом процессе участвует вся поверхность режущей кромки ножа и осуществляется скользящее резание.

Список литературы

1. Коношин И.В., Звеков А.В. Повышение эффективности рабочего процесса молотковых дробилок закрытого типа // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1 (1). – С. 165–174.

2. Калиниченко С.Г. Совершенствование технологического процесса двухстадийного измельчения жмыха по показателям энергоемкости: дис. …канд. техн. наук. – Мичуринск – наукоград РФ: МГАУ, 2004. – 221 с.

3. Dehghan-Banadaky M., R. Corbett und M. Oba. Effects of barley grain processing on productivity of cattle // Anim. Feed Sci. Technol. – 2007. – №137. – pp. 1-24.

4. Zhao X. Research on the new combined type crusher hammer // International Conference on Advanced Engineering Materials and Architecture Science. – 2014. – Vol. 488-489. – pp. 1160 – 1164.

5. Ushakov Yu., Shakhov V., Asmankin E., Naumov D. Theoretical study results of product flow management process in hammer-type shredder working chamber // Engineering for rural development proceedings. – Jelgava, 2019. – P. 185–191.

6. Солнцев Р.В. Центробежный измельчитель зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – №4 (66). – С. 76-80.

7. Завражнов А.И., Дьячков С.В. Измельчение кормов в безрешетных дробилках с применением сепаратора-измельчителя // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – №6. – С. 29-31.

8. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Производительность установки фракционного измельчения и производства смесей концентрированных и лечебных кормов // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 12. – С. 101-104.

9. Савиных П.А., Палицын В.А., Иванов И.И. Исследование измельчителя фуражного зерна роторно-центробежного типа с различными рабочими органами // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – №2 (26). – С. 119–129.

10. Сабиев У.К., Пушкарев А.С. Модернизированный измельчитель зерновых материалов // Электронный научно- методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – №1 (8). - URL http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/781-00308.

11. Созонтов А.В., Лопатин Л.А. Исследование и оптимизация рабочего процесса дробилки зерна ударного действия // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 6 (85). – С. 27-36.

12. Садов В.В., Сорокин С.А. Повышение эффективности молотковой дробилки с вертикальным валом при измельчении зерновых компонентов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 11 (169). – С. 86-92.

13. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах // Техника и технологии в животноводстве. - 2020. - № 1 (37). - С. 24-31

14. Рыбалкин Д.А. Повышение эффективности процесса измельчения лузги крупяных и масличных культур путем модернизации молотковой дробилки: автореф. дис. …канд. техн. наук. – Саратов: СГАУ имени Н.И. Вавилова, 2018. – 21 с.

15. Патент РФ № 2297155 МПК A23K 1/14, A23K 1/00, A23J 1/14. Способ и установка для переработки экстракционного шрота из семян подсолнечника для кормления животных / Вальтер Ульрих. – Опубл. 20.04.2007, Бюл. №11.

16. Патент РФ № 2 617 597 МПК A23K 10/30, C11B 1/00. Способ доработки подсолнечного шрота и установка для его осуществления / В.В. Васьков. – Опубл. 25.04.2017, Бюл. №12.

17. Патент РФ 2268629, МПК A23N7/00, C11B 1/00. Способ удаления оболочек семян из шрота/жмыха подсолнечника и установка для его осуществления / А.Б. Петров. – Опубл. 27.01.2006, Бюл. №03.

18. А.с. №184552. Измельчитель кормов, например жмыха / В.А. Пугачев, В.В. Васильев, М.Г. Михалко. – Опубл. 21.07.1966, Бюл. №15.

19. А.с. №98339. Дробилка для измельчения зерна, жмыха, сена и других продуктов / В.П. Мануйлов. – Опубл. 1954, Бюл. №6.

20. А.с. № 118933. Способ подготовки форпрессовой ракушки жмыха к экстракции / А.И. Скипин. – Опубл. 01.01.1959.

21. Патент РФ № 129427 МПК B02C 18/22. Измельчитель жмыха / А. Г. Сергеев, Т. А. Гаринова, И. В. Ступин. – Опубл. 27.06.2013, Бюл. №18.

22. Патент РФ № 41990 МПК B02C 18/22. Измельчитель жмыха / Н.П. Тишанинов, С.Г. Калиниченко. – Опубл. 20.11.2004.

23. А.с. №65454 МПК B02C 13/02, B02C 13/30. Дробилка / А.Ф. Гребенников. – Опубл. 31.12.1945.

24. Патент РФ № 33877 МПК B02C 9/02. Вертикальная молотковая дробилка / А.А. Бугаев. – Опубл. 20.11.2003.

25. Патент РФ №2648392 МПК B02C18/06. Измельчитель белкового корма / И.Е. Припоров. – Опубл. 26.03.2018, Бюл. № 9.

26. Припоров И.Е. Универсальный измельчитель для приготовления белкового корма в гранулированном виде для крупного рогатого скота // Новости науки в АПК. – 2018. – № 2-1 (11). – С. 108-110.

27. Припоров И.Е., Шепелев А.Б. и др. Выбор конструкции измельчителя белковых кормов по функции Харингтона // Сельский механизатор. – 2021. – № 11. – С. 18-20.

28. Патент РФ №2693260 МПК B02C 18/06. Измельчитель белкового корма / И.Е. Припоров, Т.Н. Бачу, Л.А. Дайбова. – Опубл. 01.07.2019, Бюл. №19.

29. Priporov I.E., Kurasov V.S. and Samurganov E.E. Improvement of the efficiency of sunflower cake grinding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Volume 488. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/488/1/012037/pdf.

References

1. Konoshin I.V., Zvekov A.V. Povyshenie effektivnosti rabochego processa molotkovyh drobilok zakrytogo tipa // Agrotekhnika i energoobespechenie. – 2014. – № 1 (1). – S. 165–174.

2. Kalinichenko S.G. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa dvuhstadijnogo izmel'cheniya zhmyha po pokazatelyam energoemkosti: dis. …kand. tekhn. nauk. – Michurinsk – naukograd RF: MGAU, 2004. – 221 s.

3. Dehghan-Banadaky M., R. Corbett und M. Oba. Effects of barley grain processing on productivity of cattle // Anim. Feed Sci. Technol. – 2007. – №137. – pp. 1-24.

4. Zhao X. Research on the new combined type crusher hammer // International Conference on Advanced Engineering Materials and Architecture Science. – 2014. – Vol. 488-489. – pp. 1160 – 1164.

5. Ushakov Yu., Shakhov V., Asmankin E., Naumov D. Theoretical study results of product flow management process in hammer-type shredder working chamber // Engineering for rural development proceedings. – Jelgava, 2019. – P. 185–191.

6. Solncev R.V. Centrobezhnyj izmel'chitel' zerna // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – №4 (66). – S. 76-80.

7. Zavrazhnov A.I., D'yachkov S.V. Izmel'chenie kormov v bezreshetnyh drobilkah s primeneniem separatora-izmel'chitelya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2007. – №6. – S. 29-31.

8. Syrovatka V.I., ZHdanova N.V., Obuhov A.D. Proizvoditel'nost' ustanovki frakcionnogo izmel'cheniya i proizvodstva smesej koncentrirovannyh i lechebnyh kormov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2018. – T. 32. – № 12. – S. 101-104.

9. Savinyh P.A., Palicyn V.A., Ivanov I.I. Issledovanie izmel'chitelya furazhnogo zerna rotorno-centrobezhnogo tipa s razlichnymi rabochimi organami // Molochnohozyajstvennyj vestnik. – 2017. – №2 (26). – S. 119□129.

10. Sabiev U.K., Pushkarev A.S. Modernizirovannyj izmel'chitel' zernovyh materialov // Elektronnyj nauchno- metodicheskij zhurnal Omskogo GAU. – 2017. – №1 (8). - URL http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/781-00308.

11. Sozontov A.V., Lopatin L.A. Issledovanie i optimizaciya rabochego processa drobilki zerna udarnogo dejstviya // Vestnik NGIEI. – 2018. – № 6 (85). – S. 27-36.

12. Sadov V.V., Sorokin S.A. Povyshenie effektivnosti molotkovoj drobilki s vertikal'nym valom pri izmel'chenii zernovyh komponentov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – № 11 (169). – S. 86-92.

13. Syrovatka V.I., ZHdanova N.V., Obuhov A.D. Sistema mashin dlya prigotovleniya kombikormov v hozyajstvah // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. - 2020. - № 1 (37). - S. 24-31

14. Rybalkin D.A. Povyshenie effektivnosti processa izmel'cheniya luzgi krupyanyh i maslichnyh kul'tur putem modernizacii molotkovoj drobilki: avtoref. dis. …kand. tekhn. nauk. – Saratov: SGAU imeni N.I. Vavilova, 2018. – 21 s.

15. Patent RF № 2297155 MPK A23K 1/14, A23K 1/00, A23J 1/14. Sposob i ustanovka dlya pererabotki ekstrakcionnogo shrota iz semyan podsolnechnika dlya kormleniya zhivotnyh / Val'ter Ul'rih. – Opubl. 20.04.2007, Byul. №11.

16. Patent RF № 2 617 597 MPK A23K 10/30, C11B 1/00. Sposob dorabotki podsolnechnogo shrota i ustanovka dlya ego osushchestvleniya / V.V. Vas'kov. – Opubl. 25.04.2017, Byul. №12.

17. Patent RF 2268629, MPK A23N7/00, S11V 1/00. Sposob udaleniya obolochek semyan iz shrota/zhmyha podsolnechnika i ustanovka dlya ego osushchestvleniya / A.B. Petrov. – Opubl. 27.01.2006, Byul. №03.

18. A.s. №184552. Izmel'chitel' kormov, naprimer zhmyha / V.A. Pugachev, V.V. Vasil'ev, M.G. Mihalko. – Opubl. 21.07.1966, Byul. №15.

19. A.s. №98339. Drobilka dlya izmel'cheniya zerna, zhmyha, sena i drugih produktov / V.P. Manujlov. – Opubl. 1954, Byul. №6.

20. A.s. № 118933. Sposob podgotovki forpressovoj rakushki zhmyha k ekstrakcii / A.I. Skipin. – Opubl. 01.01.1959.

21. Patent RF № 129427 MPK B02C 18/22. Izmel'chitel' zhmyha / A. G. Sergeev, T. A. Garinova, I. V. Stupin. – Opubl. 27.06.2013, Byul. №18.

22. Patent RF № 41990 MPK B02C 18/22. Izmel'chitel' zhmyha / N.P. Tishaninov, S.G. Kalinichenko. – Opubl. 20.11.2004.

23. A.s. №65454 MPK B02C 13/02, B02C 13/30. Drobilka / A.F. Grebennikov. – Opubl. 31.12.1945.
24. Patent RF № 33877 MPK B02C 9/02. Vertikal'naya molotkovaya drobilka / A.A. Bugaev. – Opubl. 20.11.2003.
25. Patent RF №2648392 MPK V02S18/06. Izmel'chitel' belkovogo korma / I.E. Priporov. – Opubl. 26.03.2018, Byul. № 9.
26. Priporov I.E. Universal'nyj izmel'chitel' dlya prigotovleniya belkovogo korma v granulirovannom vide dlya krupnogo rogatogo skota // Novosti nauki v APK. – 2018. – № 2-1 (11). – S. 108-110.
27. Priporov I.E., SHepelev A.B. i dr. Vybor konstrukcii izmel'chitelya belkovyh kormov po funkcii Haringtona // Sel'skij mekhanizator. – 2021. – № 11. – S. 18-20.
28. Patent RF №2693260 MPK V02S 18/06. Izmel'chitel' belkovogo korma / I.E. Priporov, T.N. Bachu, L.A. Dajbova. – Opubl. 01.07.2019, Byul. №19.
29. Priporov I.E., Kurasov V.S. and Samurganov E.E. Improvement of the efficiency of sunflower cake grinding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Volume 488. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/488/1/012037/pdf.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Припоров Игорь Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент ВАК, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Россия, г. Краснодар, e-mail: i.priporov@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Priporov Igor - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher Attestation Commission, Associate Professor of the Department "Tractors, Automobiles and Technical Mechanics", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Russia, Krasnodar, e-mail: i.priporov@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 28.03.2022

УДК 636.085.55
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-116-124

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА ДЛЯ КОМБИКОРМОВ

[1]Шулаев Геннадий Михайлович
[1]Милушев Ринат Келимулович

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

Реферат. *Бобовые культуры являются большим резервом полноценного кормового белка для свиноводства, создавая фундамент для производства импортозамещающих добавок и концентратов, обеспечивающих сбалансированное кормление животных, способствующих повышению конкурентоспособности отрасли. В работе рекомендуется расширять научно-обоснованное использование растительного белка, особенно бобовых культур, с использованием специальных технологий обработки сырья для инактивации антипитательных веществ. Установлено, что технологическая обработка бобов сои и люпина (микронизация, шелушение, экструдирование) улучшает качественные характеристики этих кормов, что благоприятно сказывается на усвоении питательных веществ животными. Разработаны балансирующие высокобелковые концентраты, содержащие в своем составе сою, люпин и комплекс современных*

биологически активных веществ. Как показали исследования, использование микронизированной, экструдированной и автоклавированной сои и шелушённого экструдированного люпина снижает стоимость балансирующего концентрата без ухудшения его качества. При этом не снижается продуктивность животных, не выходит за пределы нормы микробиоценоз кишечника, на высоком уровне остается обмен веществ. Показано, что это благоприятно сказывается на усвоении питательных веществ. Определен оптимальный режим влаготепловой обработки сои методом микронизации: увлажнение сои до 19%, ИК-облучение её в течение 60 с при температуре 130 ^{o}C с последующим темперированием (выдержка) при 90°C в течение 15 мин. Приведена технологическая схема изготовления балансирующих концентратов. Эти концентраты дешевле рыбной муки, их использование позволяет снизить затраты на комбикорма, получить дополнительный доход и, в итоге, способствует обеспечению высокой рентабельности свиноводческой отрасли.

Ключевые слова: *соя, люпин, концентраты, технология приготовления, продуктивность.*

MANUFACTURING TECHNIQUES OF CONCENTRATES FROM VEGETATIVE PROTEIN FOR MIXED FODDERS

[1]Shulaev Gennady
[1]Milushev Rinat
[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract*. Legumes are a great reserve of high-grade protein feed for pig production, creating a solid base for the production of import-substituting additives that provide a balanced feeding of animals and increase the competitiveness of the industry. It is recommended to extend a science-based use of vegetable protein, especially legumes, using special technology of processing of raw materials for inactivation of anti-nutritional substances. It was established that the technological processing of soy and lupine (micronizing, flaking, extrusion) improves the quality characteristics of the feed, which is beneficial to absorption of nutrients. Studies have shown that the use of micronized, extruded and autoclaved soy and shelled extruded lupine reduces the cost of the balancing concentrate without compromising its quality. At the same time, the productivity of animals does not decrease, the intestinal microbiocenosis does not go beyond the norm, and the metabolism remains at a high level. This has been shown to improve nutrient absorption. The optimal mode of moisture-thermal treatment of soybeans by the micronization method was determined: soybean moistening up to 19%, its IR irradiation for 60 s at a temperature of 130 ° C, followed by tempering (exposure) at 90 ° C for 15 minutes. A technological scheme for the manufacture of balancing concentrates is given. These concentrates are cheaper than fishmeal, their use allows you to reduce the cost of feed, get additional income and, as a result, contributes to the high profitability of the pig industry.The composition of high-grade protein concentrates are maked. The productivity of animals is not decreased bowel microbiocenosis did not go beyond the limits of Maximum Permissible Concentrations, digestion of nutrients was high enough. It is shown that it is beneficial to the assimilation of nutrients. Optimum processing mode using moisture and heat by micronization soya: soya hydration to 19%, an IR irradiation 60c for her at 130 ° C with subsequent tempering (extract) at 90 ° C for 15 minutes is defined. Technological scheme for producing of additives is shown. Are developed highprotien concentrates alternatively to import analogues and forages of an animal origin for mixed fodders. Industrial tests of mixed fodders with different developed concentrates in the conditions of pig-breeding complexes on different stages was fulfill. Growth of pigs are registrated.*

Keywords*: soya, lupine, concentrates, technology of preparation, productivity*

Введение. Российское промышленное свиноводство остро нуждается в кормах, тщательно сбалансированных по белку и другим показателям питательности. Традиционные источники белкового сырья - рыбная и мясокостная мука, дрожжи микробиологического синтеза постоянно дорожают, имеют узкую ресурсную базу, часто подвергаются фальсификации, поэтому не могут обеспечить в полной мере комбикормовую промышленность белком [7]. Потребности современных животных в нем удовлетворить могут две культуры: соя и люпин [1,4]. В последние годы производство зернобобовых культур (сои, люпина, рапса, гороха) увеличивается, растет количество предприятий по их переработке в высококачественные корма.

Структура рационов кормления свиней в России традиционно состоит из пшеницы и ячменя. Без введения в них жиров животного или растительного происхождения они испытывают дефицит энергии, не позволяя животным эффективно использовать протеин корма, из-за расходования большей его части на обеспечение потребностей организма в энергии. Одной из особенностей организма свиней является отсутствие у него способности к самостоятельному синтезу полиненасыщенных жирных кислот омега – 3 и омега – 6. Он может получать эти питательные вещества только с кормом. Бобы сои во всех зонах возделывания отличаются высоким содержанием этих кислот [4]. По количественному и качественному составу липидов к сое близки люпины. У всех сортов люпина жиры состоят в основном из полиненасыщенных жирных кислот.

Применение семян льна в кормах для сельскохозяйственных животных также может оптимизировать состав жирных кислот в них [6]. Другим источником полиненасыщенных жирных кислот являются семена полножирного рапса [3]. Однако получать качественный кормовой продукт, содержащий оптимальное соотношение ненасыщенных жирных кислот из вышеперечисленных компонентов сложно из-за наличия большого количества антипитательных веществ в этих культурах и значительных затрат на их удаление. Простым способом обогащения рационов свиней ненасыщенными жирными кислотами является использование различных растительных масел [5].

Эти факты являются основой, опираясь на которую можно создавать высококачественные балансирующие концентраты из доступного растительного сырья, содержащие в своем составе не только протеин, но и жир с оптимальным соотношением полиненасыщенных жирных кислот. Такой прием может восполнить пробел в нормах по потреблению полиненасыщенных жирных кислот для свиней, обеспечить рациональное использование белковых кормов, богатых энергией.

С помощью таких концентратов можно не только балансировать рационы кормления свиней по протеину и полиненасыщенным жирным кислотам, но и заменять корма животного происхождения – в частности рыбную муку, которая была взята нами в качестве эталона [5,7].

Цель исследований - повышение эффективности использования комбикормов в свиноводстве за счет обоснования и разработки технологии производства балансирующих концентратов из бобовых и масличных культур, и биологически активных веществ.

Материалы и методы исследования. Методологической основой работы служили результаты исследований последних лет ведущих отечественных ученых в области технологии производства и обработки кормов, кормления свиней [8-10;12-14]. На основе их анализа были разработаны балансирующие концентраты, предназначенные для введения в комбикорма для разных технологических групп свиней: белково-витаминно-минеральный концентрат - БВМК для поросят-сосунов, бобово-глютеновый (БГК), бобово-жмыховый (БЖК), бобово-подсолнечный (БПК) и концентрат из масличных культур (КМК). Оценку качества концентратов проводили по степени приближения их показателей к соответствующим показателям эталона - рыбной муки.

Использовалась технологическая обработка исходного сырья для удаления из него антипитательных веществ. Был уточнен ряд параметров для такой обработки. Проведены научно-хозяйственные и производственные опыты. Животных для них отбирали по принципу аналогов,

формировали две группы молодняка свиней в условиях доращивания и откорма. Контрольная группа получала комбикорм, постоянно использующийся в хозяйстве, а опытная – с изучаемым концентратом. Комбикорма скармливали утром и вечером. Они были сбалансированы по основным питательным веществам и энергии и скармливались в соответствии с принятыми нормами. По результатам ежемесячного индивидуального взвешивания определяли прирост живой массы и среднесуточный прирост. Изготовление опытных образцов концентратов, комбикормов с их использованием и производственные испытания на свиньях проводились в кормоцехе колхоза-племзавода им. Ленина, ОАО «Сатинское», ООО «АГРО», ФГУППЗ «Орловский» Тамбовской области. Стадии разработки концентратов приведены ниже.

Рисунок 1 - Блок-схема разработки балансирующих концентратов для комбикормов

У животных исследовали основные биохимические показатели крови, характеризующие обмен веществ. Для определения нормальных интервалов этих показателей пользовались данными, которые приводятся в современной научной литературе [2]. Во время проведения опытов у животных определяли состав микрофлоры экскрементов, методом контрольного убоя изучали качество свиноводческой продукции.

Проведена оценка эффективности использования в кормлении свиней комбикормов, с разработанными новыми концентратами. Экономические показатели рассчитывали по прямым затратам. Цифровой материал, полученный в опытах, обрабатывался с использованием t-критерия Стьюдента. Достоверными считались различия при значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Разработка, изготовление, испытания в производственных условиях балансирующих концентратов были единым технологическим процессом, важной составляющей частью которого стала подготовка исходных компонентов, и, в частности, удаление из них антипитательных веществ. Как показали исследования, разные сорта сои при ее использовании в кормлении животных, требуют индивидуальных подходов к технологическим параметрам их обработки, которая удаляет вредные вещества. Установлено, что эти сорта

отличаются между собой по содержанию водорастворимых фракций протеина и активности уреазы, в результате чего неодинаково реагируют на одни и те же параметры методов удаления в частности - микронизацию. Поэтому для каждого сорта сои необходимо корректировать свои режимы, для обеспечения в получаемой продукции нормативных показателей качества, принятые для такого корма [12,13].

Установлено, что ингибировать антипитательные факторы в бобах полножирной сои только за счет кратковременного высокотемпературного инфро-красного (ИК) – разогрева сложно. В бобах микронизированной полножирной сои параметры темперирования оказывают решающее влияние на эти показатели. Было установлено, что ИК облучение бобов сои при мощности 2,25 кВт до температуры 130°С, а затем последующее их темперирование при 90°С в течение 15 мин. снижает в них активность уреазы (АУ) до 0,27 ΔpH. Такое ее значение свидетельствует о безопасном содержании антипитательных веществ в обрабатываемом сырье. Дальнейшее увеличение времени выдержки при температуре 90 °С резко снижало АУ и ухудшало качество полученных бобов.

Бобы сои содержат помимо протеина высококачественные липиды. Определено влияние гидротермической обработки на их липидный комплекс, в частности на полиненасыщенные жирные кислоты. Исследовны два способа обогрева бобов сои комбинированный - ИК облучение сверху, ТЭН - снизу, а также ИК-облучение только сверху. Бобы перед обработкой увлажнялись 10 минут. В них был определен жирнокислотный состав и активность уреазы. Было установлено, что оба изучаемых способа гидротермической обработки полножирной сои оказывают незначительное влияние на её жирнокислотный состав. Комбинированный обогрев лучше инактивировал антипитательные вещества в сое. Он обеспечивал получение нормативного показателя по уреазе - 0,25 ед. pH [11]. Жирнокислотный состав бобов при этом не претерпевал существенных изменений.

В настоящее время в решении проблемы обеспеченности рациона свиней белком большие перспективы открываются перед люпином [1]. Его недостатками являются высокое содержание клетчатки, олигосахаридов, а также алкалоидов. Эти соединения ограничивают нормы введения его в состав комбикормов для молодняка свиней. Установлен наиболее приемлемый метод обработки зерна люпина сорта «Дега» для снижения в нем содержания алкалоидов до безопасного уровня. Для обработки шелушенных бобов люпина содержавших 0,102 % алкалоидов был использован способ с одностадийным замачиванием.

Установлено, что при простом замачивании их количество снижается с 0,116% до 0,064%, или в 1,8 раза. Хинолизидиновые алкалоиды, которые содержатся в бобах люпина, относятся к водорастворимым соединениям. Без замачивания в воде термическая обработка не решает вопрос деалкалоидизации бобов люпина. Это согласуется с данными других исследователей [15].

После усовершенствования способов устранения антипитательных веществ из основных компонентов, использовавшихся при создании концентратов, были обоснованы и разработаны их рецепты. Изготовление комбикормов с балансирующими белковыми концентратами включало дозирование и измельчение зерновых компонентов, синхронное дозирование белковых концентратов, их введение в смеситель одновременно с измельчением зерносмеси. В приготовлении комбикормов для свиней применялось качественное зерно с влажностью не выше 14%, не пораженное грибковыми заболеваниями. В цехе приготовления комбикормов предусматривались такие технологические операции:

- удаление различных примесей из зерна;
- измельчение зерна до размера частиц 0,2-0,3 мм для поросят;
- измельчение зерна до размера частиц 0,3-0,5 мм для откармливаемых свиней.

В настоящее время собственное производство комбикормов дает большую гарантию качества, независимость от поставщиков и от колебаний цен на рынке зерна. На базе отечественного

оборудования была разработана технология приготовления балансирующих концентратов (представлена на рисунке 2). В ней предусмотрено проведение микронизации или экструзии сои, а также экструдирование шелушённого люпина, дозирование и измельчением зерна. Для обработки сои в технологии может использоваться экструдер КМЗ-2У. Но для этого его необходимо дополнительно оснастить съёмной фильерой. Для смешивания имеется два смесителя (малый для макро- и микродобавок) и большой – для заключительного смешивания всех компонентов. В технологии предусмотрено ступенчатое смешивание компонентов, входящих в состав добавок. Малый и большой смесители работают в режиме циклично-периодического действия. Все компоненты рассчитываются на выработку за один цикл 1,5 т готовой продукции.

Общая технологическая схема изготовления балансирующих белковых концентратов для молодняка свиней представлена ниже.

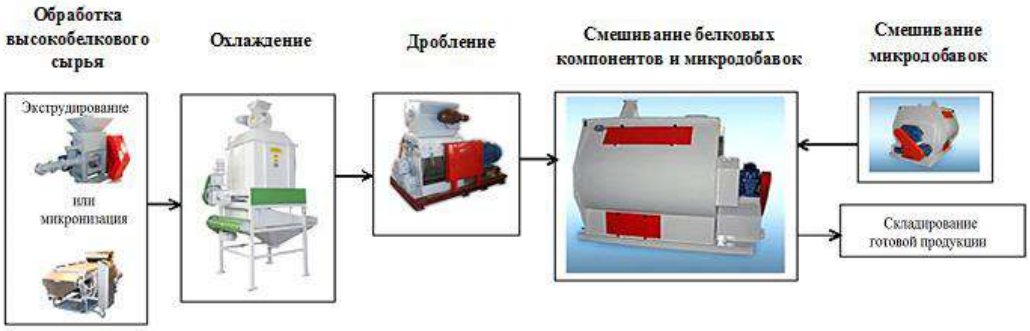


Рисунок 2 - Технологии и технические средства приготовления импортозамещающих обогатительных добавок для комбикормов

В рамках описанной технологии разработан белково-витаминно-минеральный концентрат (БВМК) для комбикормов поросятам. Его особенностью стало содержание в составе обработанных бобов люпина и полножирной сои. Рецепт этого концентрата не уступает по качеству импортному аналогу (Panto F-10). Использование концентрата в количестве 10,0% от массы комбикорма дало хорошие результаты. Среднесуточные приросты у поросят-сосунов, получавших комбикорм с ним, были не хуже, чем в группе, использовавшей комбикорм с импортным концентратом (Panto F-10): 293 г против 306 г. Производство комбикорма с балансирующим концентратом обходилось дешевле на 23,6 - 27,3%.

Разработаны концентраты, которые могут замещать при выращивании молодняка свиней корма животного происхождения, в частности рыбную муку. В составе таких обогатительных добавок были использованы источники растительного белка взамен дорогостоящих кормов животного происхождения: полножирная соя, люпин, кукурузный глютен, подсолнечный жмых, растительный белок, получаемый из подсолнечного шрота «протемил». В рецепте бобово-глютенового концентрата (БГК) максимально использованы высокобелковые корма (соя, люпин, кукурузный глютен). Введены органические соединения йода и цинка (в виде биоплексов), биологически активные вещества – карнитин, витамины, эмульгатор жиров. Источник полиненасыщенных жирных кислот - рыбий жир. По качественной характеристике (содержанию основных незаменимых аминокислот, витаминов и микроэлементов) этот концентрат близок к показателям рыбной муки. Среднесуточные приросты животных из группы, получавшей комбикорма с БГК, были близки к показателям контрольных, получавших комбикорма с высококачественной рыбной мукой (527 против 532 г). Затраты кормов в обеих группах были одинаковые и составили 3,19 - 3,21 кг комбикорма на 1 кг прироста живой массы. БГК на 42,22 % был дешевле рыбной муки, использование его в комбикорме на 10,9 % снижало его стоимость.

В бобово-жмыховом концентрате (БЖК) предусмотрено использование полножирной сои, люпина и подсолнечного жмыха. Они подвергаются соответствующей обработке для устранения из них антипитательных веществ. Этот концентрат дополняет линейку кормовых средств,

предназначенных для замены источников животного белка в рационах свиней. В его рецепт был введён препарат Сел-Плекс (органическая форма селена), усиливающий его антиоксидантные свойства, увеличена дозировка Йоддара, который позволяет покрывать недостаток йода в кормах. Вместо дорогостоящего рыбьего жира было использовано нерафинированное льняное масло. В исследованиях контрольная группа животных получала комбикорм, с ранее апробированным концентратом (БГК), а опытная – комбикорм такого же состава, но с новым (БЖК). В комбикорме они составляли 5% от его массы. Среднесуточные приросты у животных из опытной группы были выше контрольных (685 против 658г) на 4,10%. Доход на одного подсвинка составил 635,9 рублей.

В составе бобово–подсолнечного концентрата (БПК) использована экструдированная полножирная соя. Для увеличения протеина и содержания незаменимых аминокислот в состав этого концентрата был введен новый компонент «протемил», получаемый из подсолнечного шрота. Он содержал 82% протеина. Для повышения биологической ценности концентрата, максимального приближения его качественных характеристик к рыбной муке, были увеличены дозировки биоплексов йода и селена, а также витамина B_{12}, как фактора кормов животного происхождения, которого нет в растительном сырье. Использовано льняное масло, природный источник полиненасыщенной линоленовой кислоты, выполняющей функцию витамина F. Применение в комбикормах рыбной муки и бобово-подсолнечного концентрата обеспечило при откорме свиней высокую продуктивность. Среднесуточные приросты подопытных животных были на уровне 698 г, против контрольных, получавших комбикорм с рыбной мукой - 708 г. Различий между группами в выходе продуктов убоя, химическом составе мяса не установлено. Использование БПК в комбикорме для свиней на откорме снизило стоимость последнего и обеспечило получение экономического эффекта в размере - 257,0 рублей на одно животное. Концентрат был дешевле рыбной муки на 32,2%.

В составе описанных выше белковых концентратов в качестве источников полиненасыщенных жирных кислот были использованы рыбий жир и льняное масло. Это создавало неудобства при изготовлении этих кормовых средств. Для улучшения технологии их приготовления был создан концентрат из масличных культур (КМК) в сыпучей форме, с оптимальным соотношением полиненасыщенных жирных кислот. В его рецепте использованы семена полножирного льна и рапса, эмульгатор жиров и антиоксидант. Установлена его эффективность в составе комбикормов при выращивании поросят. Среднесуточные приросты животных из группы, получавших концентрат, были выше контрольных на 10,6%, а затраты комбикорма ниже на 7,1%. Применение концентрата при выращивании свиней было экономически оправдано и дало 184,00 руб. дополнительного дохода на каждого подсвинка.

Использование концентратов из растительного белка и жира в комбикормах положительно повлияло на обмен веществ у свиней. Это проявилось интенсивными окислительно-восстановительными процессами – достоверно большим содержанием в крови молодняка гемоглобина, повышении его концентрации в одном эритроците, достоверном увеличении основных метаболитов минерального обмена и активности щелочной фосфатазы в крови у откармливаемых животных. В кишечнике животных, получавших в составе комбикорма балансирующие белковые концентраты, доминировали представители нормальной микрофлоры анаэробные бифидобактерии (10^9 КОЕ/г) и лактобактерии (10^6 – 10^8 КОЕ/г), что создавало оптимальные условия для хорошего пищеварения.

Заключение. Бобовые культуры являются большим резервом полноценного кормового белка для свиноводства. Они создают надежную базу для производства импортозамещающих концентратов, которые обеспечат сбалансированное кормление животных и повысят конкурентоспособность отрасли. Проведенные на молодняке свиней исследования, показали эффективность и экономическую целесообразность использования в составе комбикормов таких обогатительных кормовых добавок. Концентраты из растительного сырья и биологически активных веществ дешевле рыбной муки, снижают затраты на комбикорма, позволяют получать дополнительный доход и обеспечивать высокую рентабельность свиноводческой отрасли.

Список литературы.

1. Артюхов А., Гапонов Н. Люпин - ценный источник белка в комбикормах// Комбикорма. - 2010. - №3. - С. 65-66.

2. Гимадеева, Л.С., Гусев И.В., Рыков Р.А. Биохимический статус поросят при выращивании в условиях промышленной технологии // Зоотехния. - 2015. - №9. - С. 29-31.

3. Зорикова, А. А. Перспективы использования рапса // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2010. - Т.5. - №5. - С. 63-64.

4. Комлацкий, Г. Полножирная соя в свиноводстве // Комбикорма. - 2011.- №7. - С. 73-74.

5. Потапова, Л., Альберт М. НАТ - уникальная природная добавка // Свиноводство. - 2012.- №8. - С. 14-15.

6. Подобед Л.И. Льняной жмых - пополняет ассортимент белковых добавок для животных и птицы // эффективное животноводство. - 2019. - №5. - с.46-48.

7. Шкатов М. В престартере не должно быть белков животного происхождения // Свиноводство. - 2021. - №4. - С. 12 - 13.

8. Шулаев Г.М. Природные богатства Тамбовской области на пользу животноводства / Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2011. - Т. 16. - № 2. - С. 692-694.

9. Шулаев Г.М., Бетин А. Н., Добрынин В.Н. Совершенствование рецептуры комбикормов для молодняка свиней с использованием полножирной микронизированной сои // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Т. 15. - № 1. - С. 158-160.

10. Шулаев Г.М., Бетин А.Н., Энговатов В.Ф. Полножирная микронизированная соя в комбикормах – основа продуктивности поросят // Главный зоотехник. - 2011. - № 4. - С. 28-33.

11. Шувалов А.М. Энергоэкономный способ термообработки сои / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов и др.// Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2015. - № 3. - С. 7-8.

12. Шулаев Г.М., Викулов С.В., Саранчина Е.Ф. Изучение эффективности разных способов технологической обработки сои для использования в комбикормах и рационах свиней // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2011. - Т. 16. - № 2. - С. 695-697.

13. Шулаев Г.М., Саранчина Е.Ф., Вотановская Н.А. Методы технологической обработки сои для снижения антипитательных веществ // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. - 2011. - Т. 22. - № 3 (3). - С. 159-163.

14. Шулаев Г., Бетин А., Добрынин В. Микронизированная соя в кормах для молодняка свиней // Комбикорма. - 2010. - № 2. - С. 78.

15. Штеле, А. Белый люпин - новый белковый корм для высокопродуктивной птицы // Белый люпин. - 2014. - №1. - С. 15 -19.

References

1. Artyuhov A., Gaponov N. Lyupin - cennyj istochnik belka v kombikormah// Kombikorma. - 2010. - №3. - S. 65-66.

2. Gimadeeva, L.S., Gusev I.V., Rykov R.A. Biohimicheskij status porosyat pri vyrashchivanii v usloviyah promyshlennoj tekhnologii // Zootekhniya. - 2015. - №9. - S. 29-31.

3. Zorikova, A. A. Perspektivy ispol'zovaniya rapsa // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. - 2010. - T.5. - №5. - S. 63-64.

4. Komlackij, G. Polnozhirnaya soya v svinovodstve // Kombikorma. - 2011.- №7. - S. 73-74.

5. Potapova, L., Al'bert M. NAT - unikal'naya prirodnaya dobavka // Svinovodstvo. - 2012.- №8. - S. 14-15.

6. Podobed L.I. L'nyanoj zhmyh - popolnyaet assortiment belkovyh dobavok dlya zhivotnyh i pticy // Effektivnoe zhivotnovodstvo. - 2019. - №5. - S.46-48.

7. Shkatov M. V prestartere ne dolzhno byt' belkov zhivotnogo proiskhozhdeniya // Svinovodstvo. - 2021. - №4. - S. 12 - 13.

8. Shulaev G.M. Prirodnye bogatstva Tambovskoj oblasti na pol'zu zhivotnovodstva / Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - 2011. - T. 16. - № 2. - S. 692-694.

9. Shulaev G.M., Betin A. N., Dobrynin V.N. Sovershenstvovanie receptury kombikormov dlya molodnyaka svinej s ispol'zovaniem polnozhirnoj mikronizirovannoj soi // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - 2010. - T. 15. - № 1. - S. 158-160.

10. Shulaev G.M., Betin A.N., Engovatov V.F. Polnozhirnaya mikronizirovannaya soya v kombikormah – osnova produktivnosti porosyat //

Glavnyj zootekhnik. - 2011. - № 4. - S. 28-33.

11. Shuvalov A.M. Energoekonomnyj sposobtermoobrabotki soi / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov, D.S. CHernov i dr.// Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. - 2015. - № 3. - S. 7-8.

12. Shulaev G.M., Vikulov S.V., Saranchina E.F. Izuchenie effektivnosti raznyh sposobov tekhnologicheskoj obrabotki soi dlya ispol'zovaniya v kombikormah i racionah svinej // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - 2011. - T. 16. - № 2. - S. 695-697.

13. Shulaev G.M., Saranchina E.F., Votanovskaya N.A. Metody tekhnologicheskoj obrabotki soi dlya snizheniya antipitatel'nyh veshchestv //

Nauchnye trudy GNU VNIIMZH Rossel'hozakademii. - 2011. - T. 22. - № 3 (3). - S. 159-163.

14. Shulaev G., Betin A., Dobrynin V. Mikronizirovannaya soya v kormah dlya molodnyaka svinej // Kombikorma. - 2010. - № 2. - S. 78.

15. Shtele, A. Belyj lyupin - novyj belkovyj korm dlya vysokoproduktivnoj pticy // Belyj lyupin. - 2014. - №1. - S. 15 -19.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шулаев Геннадий Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: tniij@yandex.ru.

Милушев Ринат Келимулович – доктор сельскохозяйственных 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: july1931@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Shulaev Gennady – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: tniij@yandex.ru.

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: july1931@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.04.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2022

УДК 621.78
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-125-134

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛИЗАЦИЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ АПК, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСРЕДСТВОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИХ

[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Скоморохова Анастасия Игоревна
[2]Филатов Иван Сергеевич
[1,3]Родионов Юрий Викторович
[1,3]Никитин Дмитрий Вячеславович

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов
[2]ТОГБПОУ «Приборостроительный колледж», г. Тамбов
[3]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск

Реферат. *Активное внедрение аддитивные технологий во многих отраслях промышленности, в том числе в сельском хозяйстве, обуславливает актуальность изучения свойств материалов, которые используются в печати, и характеристики получаемых изделий. В трехмерной печати широко используются полимерные материалы, на основе которых можно создавать новые композиты с требуемыми параметрами. Одним из подходов значительного улучшения свойств деталей из полимеров, полученных с использованием 3D-печати, является их металлизация. В статье предложена технология поверхностного упрочнения деталей из термопластических полимерных материалов. Данная технология основана на совмещении действия внешнего теплового потока, который направлен на упрочняемую поверхность, и магнитного поля, действующего с противоположной поверхности детали. Под воздействием магнитного и термического полей происходит диффузия частиц металлического порошка внутрь поверхности полимера. В частности, рассматривается упрочнение лопатки рабочего колеса жидкостнокольцевого вакуумного насоса, изготовленного из АБС-пластика посредством трехмерной печати по технологии FDM. Рассмотрены характеристики используемого термопластического полимера, которые влияют на режимные параметры процесса печати и последующего упрочнения. Описана разработанная установка, посредством которой осуществляется магнитотермическое армирование. Предложены следующие параметры поверхностного упрочнения: давление формования 2 МПа; предварительный нагрев пресс-формы до 160-180 °С (приблизительно на 20 °С ниже температуры плавления АБС-пластика); выдержка при указанных температуре и давлении не более 2 минут с последующим охлаждением на воздухе. В качестве ферромагнетика для упрочнения выбран порошок никеля с размером частиц 40 мкм. В дальнейшем возможно проведение исследований по внедрению металлического порошка в изделие в процессе печати.*

Ключевые слова: *полимерные материалы, аддитивные технологии, поверхностное упрочнение, магнитотермия, жидкостнокольцевой вакуумный насос*

METALIZATION HARDENING OF POLYMER PARTS OF MACHINES AND MECHANISMS OF APC PRODUCED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

[1]Voronin Nikolay
[1]Skomorokhova Anastasia
[2]Filatov Ivan
[1,2]Rodionov Yuri
[1,2]Nikitin Dmitry

[1]*FSBEI HE "Tambov State Technical University"*
[2]*FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"*

Abstract. *The active introduction of additive technologies in many industries, including agriculture, determines the relevance of studying the properties of materials used in printing and the characteristics of the resulting products. Polymeric materials are widely used in 3D printing, which can be used to create new composites with the required parameters. One of the approaches to significantly improve the properties of parts made of polymers obtained using 3D printing is their metallization. The article proposes a technology for surface hardening of parts made of thermoplastic polymer materials. This technology is based on combining the action of an external heat flux, which is directed to the hardened surface, and a magnetic field, acting from the opposite surface of the part. Under the influence of magnetic and thermal fields, diffusion of metal powder particles into the polymer surface occurs. In particular, the hardening of the impeller blade of a liquid ring vacuum pump made of ABS plastic by means of three-dimensional printing using FDM technology is considered. The characteristics of the used thermoplastic polymer, which affect the regime parameters of the printing process and subsequent hardening, are considered. The developed installation is described, by means of which magnetothermal reinforcement is carried out. The following surface hardening parameters are possible: molding pressure 2 MPa; preheating the mold to 160-180°C (approximately 20°C lower than the melting point of ABS plastic); exposure at the specified temperature and pressure for no more than 2 minutes, followed by cooling in air. Nickel powder with a particle size of 40 μm was chosen as a ferromagnet for hardening. In the future, it is possible to conduct research on the introduction of metal powder into the product during the printing process.*

Keywords: *polymeric materials, additive technologies, surface hardening, magnetic thermia, liquid ring vacuum pump.*

Введение. Повышение функциональности изделий и улучшение их эксплуатационных характеристик представляют собой важные задачи для всех отраслей промышленности, что делает актуальным внедрение новых материалов. К наиболее перспективным можно отнести композиционные материалы на основе полимеров, которые уже получили широкое распространение при изготовлении деталей для нужд химической промышленности и сельского хозяйства [1-3]. Основными достоинствами полимерных материалов являются: высокая удельная прочность, устойчивость к химическим воздействиям, хорошие диэлектрические свойства. Изделия из полимеров, по сравнению с металлическими аналогами, обладают меньшей массой, а их изготовление требует меньших затрат. Однако полимеры имеют ряд недостатков. Среди наиболее значимых можно выделить низкую контактную прочность, склонность к повреждениям вследствие воздействия ультрафиолетового излучения и влаги [4-6].

В настоящее время интерес к изучению свойств полимеров вызван активным внедрением в производство технологий трехмерной печати, которая позволяет получать различные модели для задач прототипирования [7]. Наиболее распространенным способом 3D-печати является моделирование послойным наплавлением – Fused Deposition Modelig (FDM), при котором термопластичный полимер, обычно в виде непрерывной нити, нагревается, а затем подается на рабочий стол для послойного формирования детали [8]. Зачастую при печати по технологии FDM используется АБС-пластик, свойства которого, как и прочих полимеров, сильно ухудшаются от контакта с влагой и попадания под ультрафиолетовое излучение. Под их воздействием пластик теряет прочность, пластичность, в материале возникают микротрещины, приводящие к утрате эксплуатационных показателей изделий и отказу механизмов.

Добиться значительного улучшения свойств деталей из полимеров, полученных посредством трехмерной печати, можно путем их металлизации [9]. Нанесение металлических покрытий способствует снижению газопроницаемости, повышению тепло- и электропроводности, поглощению или отражению ионизирующих излучений, повышает износостойкость и поверхностную твердость полимеров.

Перспективным способом поверхностного упрочнения является внедрение ультрадисперсных металлических частиц непосредственно в рабочие поверхности изделий на основе полимеров, которые подвергаются наиболее сильному износу.

Целью статьи является исследование поверхностного упрочнения деталей из термопластических полимерных материалов, изготовленных с применением аддитивных технологий, посредством магнитотермического армирования.

Материалы и методы. Описание свойств полимеров и их подробное изучение приводится в работах [10-13]. Исследованиям значимых эксплуатационных характеристик и поиском подходов к повышению функциональности деталей сельскохозяйственной техники посвящены статьи [14-18].

При металлизации магнитотермическим армированием поверхностных слоев полимера надежная фиксация ультрадисперсных металлических частиц достигается за счет обхватывания их остывшим термопластом [19].

Рабочее колесо жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН), напечатанное с помощью 3D-принтера, представлено на рисунке 1.

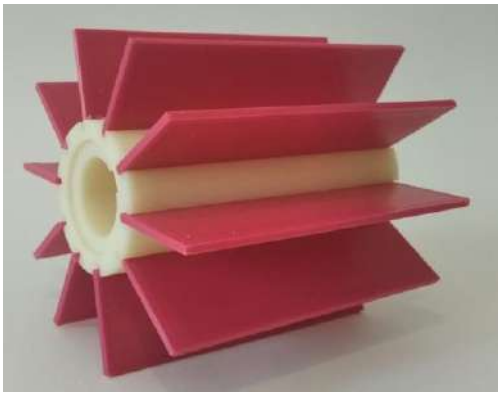


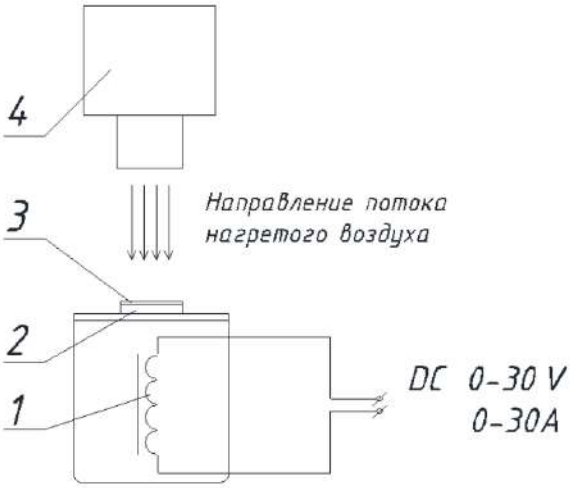
Рисунок 1 – Рабочее колесо ЖВН, изготовленное посредством аддитивных технологий

Печать производилась по технологии FDM. В качестве материала печати использовался АБС-пластик, температура плавления которого составляла 200 °С, плотность 1,04 г/см^3, температура размягчения 90 °С. Он имеет достаточно широкий диапазон эксплуатационных температур (примерно, -40…+80 °С) и легко поддается дополнительной механической обработке [20]. Параметры печати были следующими: высота слоя 0,2 мм; температура сопла 265 °С, температура рабочего стола 105 °С, скорость печати 60 мм/с, процент заполнения 20%.

На рисунке 2 представлена схема установки, предназначенной для внедрения частиц ферромагнетика в поверхности деталей из термопластичных полимерных материалов [21].

Разработанная установка работает следующим образом. Упрочняемая деталь 2 помещается на рабочую поверхность магнитной системы 1, после чего на поверхность наносится слой ультрадисперсного ферромагнитного порошка 3. Далее запускается устройство 4, которое нагнетает нагретый воздух в рабочее пространство установки. Под суммарным воздействием магнитного и теплового полей частицы порошка внедряются в поверхностные слои изделия. В результате получается металлокомпозитный слой, имеющий определенную глубину в зависимости от требуемых свойств, предъявляемых к детали.

На рисунке 3 представлено фото опытной установки для поверхностного упрочнения образцов небольших размеров.



1 – магнитная система (катушка со стальным сердечником); 2 – изделие из термопластичного полимера; 3 – слой ультрадисперсных металлических частиц; 4 – генератор тепла

Рисунок 2 – Схема установки для поверхностного упрочнения изделий из термопластичных полимеров

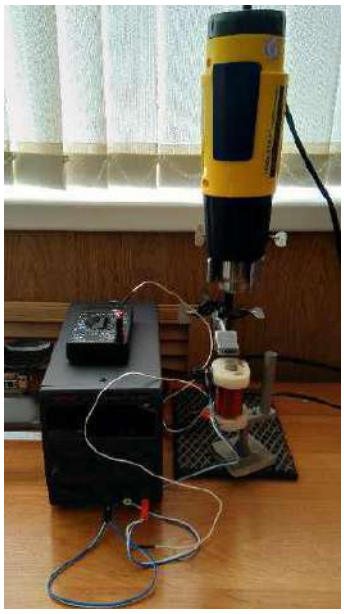


Рисунок 3 – Фото опытной установки для поверхностного упрочнения изделий из термопластичных полимеров

На вертикально расположенной штанге установлены держатели генератора теплового потока, держатель упрочняемых образцов и катушки-электромагнита. Также здесь располагаются регулируемый источник постоянного тока, необходимый для питания катушки. При этом генератор теплового потока и упрочняемый образец полимера имеют возможность перемещения относительно друг друга и электромагнита. В генераторе теплового потока предусмотрена трехступенчатая настройка расхода воздуха и электронная настройка температуры. Для замера величины температуры в месте контакта металлических частиц и полимера используется электронный термометр с термопарой типа ХК.

Результаты и их обсуждение.

Поверхностное упрочнение лопаток рабочего колеса ЖВН, изготовленного посредством аддитивных технологий, предлагается производить следующим образом: на внутреннюю

поверхность одной из частей предварительно нагретой пресс-формы (играющей роль магнитного аккумулятора) наносится и распределяется вручную ультрадисперсный ферромагнитный порошок. Затем в эту же часть пресс-формы помещается напечатанная лопатка рабочего колеса, пресс-форма закрывается и помещается под пресс, при этом необходимо учесть возможность усадки полимера в процессе формования и последующего охлаждения. Давление выбирается индивидуально для каждого используемого пластика. Например, для АБС-пластика давление формования должно составлять не менее 1 МПа.

Пресс-форма с деталью некоторое время выдерживается при заданной температуре, затем охлаждается на воздухе. После чего пресс-форма размыкается, лопатка извлекается, и с нее удаляются излишки полимера. Оставшийся ферромагнитный порошок после отключения магнитной системы можно использовать повторно, так как при температуре ниже 200°С не происходит сколько-нибудь интенсивного окисления используемого металла (никеля или кобальта) или потери его магнитных свойств.

Возможен режим упрочнения лопатки со следующими параметрами:

- материал: АБС-пластик;
- используемый ферромагнетик: порошок никеля с размером частицы 40 мкм;
- давление формования: 2 МПа;
- температура предварительного нагрева пресс-формы: 160-180 °С (т.е. приблизительно на 20 °С ниже температуры плавления АБС-пластика, что исключает его переход в жидкую фазу);
- время выдержки при заданных температуре и давлении: не более 2 минут;
- охлаждение пресс-формы с деталью: на воздухе.

После упрочнения поверхность лопатки может быть дополнительно доработана микрошлифованием (более грубые способы доработки не подходят из-за небольшой толщины слоя металла) или другими, более тонкими методами. В итоге поверхность в целом приобретает твердость и износостойкость, аналогичную примененному исходному ферромагнетику. Однако стоит отметить, что традиционные инденторные способы измерения твердости такой поверхности неприменимы по причине высокой вероятности попадания индентора между частицами, из-за чего полученные значения твердости могут колебаться в очень широком диапазоне.

Также в рамках данной работы была проверена возможность упрочнения лопаток ЖВН, изготовленных с помощью технологий 3D-печати из АБС-пластика, по изначальной технологии, описанной в работах [1-3, 19, 21, 22]. Температура в зоне упрочнения составила 230-240°С, напряжение и сила тока магнитной системы – 14 В и 5,2 А. соответственно, время воздействия – 30 сек. Результат представлен на рисунке 4. В первом эксперименте (рисунок 4, а) процент внедренных в поверхность лопаток ферромагнитных частиц минимален, что свидетельствует о недостаточно оптимальных условиях упрочнения. Это может быть связано с тем, что в первом эксперименте выбранные параметры воздействия на поверхность лопатки были ниже (210°С, 12 В и 4 А, соответственно), чем указанные выше, за исключением времени воздействия. В последующих экспериментах (рисунок 4, б-г) процент внедренных ферромагнитных частиц увеличен, о чем свидетельствуют образования крупных конгломератов, как вблизи дефектных областей, так и вне их. Проверка износоустойчивости полученных поверхностей достаточным усилием трения показала надежное закрепление частиц в поверхности лопаток и поверхностную твердость, сопоставимую с твердостью внедренного металла.

Представленная технология способствует улучшению эксплуатационных показателей полимерных изделий, полученных с использованием трехмерной печати. Проводятся исследования по расширению области применения такого подхода к поверхностному упрочнению, а также осуществляется отработка процесса диффузии более мелких частиц ферромагнетика и металлизации поверхностей образцов из различных термопластичных и термореактивных полимеров.

Стоит отметить, что поверхность, подвергаемая упрочнению, должна быть заранее подготовлена [22], для чего требуется внедрение дополнительной операций обработки в процесс производства изделий. Особенно это осложняется в случаях, когда деталь имеет сложную форму с труднодоступными криволинейными поверхностями. Поэтому исследования по внедрению металлического порошка в модель непосредственно в процессе ее формирования при аддитивном производстве являются актуальными в фундаментальном и прикладном аспектах.

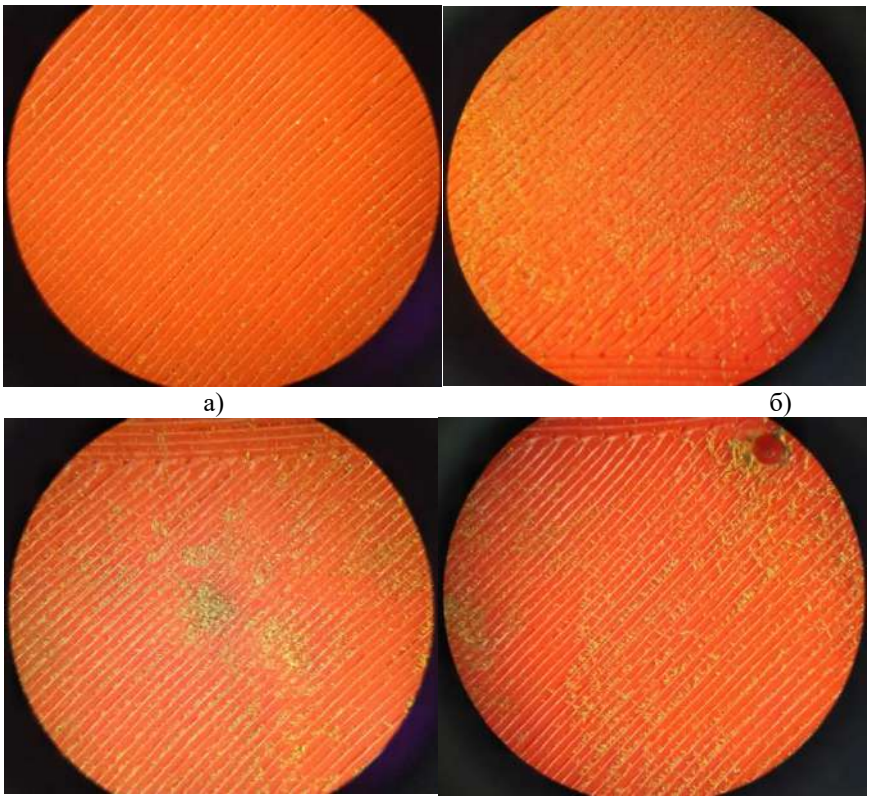


Рисунок 4 – Микроструктура поверхности лопаток ЖВН из АБС-пластика, полученных с использованием трехмерной печати. Увеличение 100^x

Заключение.

Предложен метод упрочнения поверхностей изделий из полимеров, напечатанных с использованием аддитивных технологий. Описанное поверхностное упрочнение предполагает совмещение действия магнитного и термического полей с целью внедрения частиц металлического порошка внутрь поверхности полимера. Возможный режим проведения упрочнения лопатки ЖВН, напечатанной из АБС-пластика, предполагает диффузию порошка никеля с размерами частиц 40 мкм при давлении формования 2 МПа. Предварительный нагрев пресс-формы осуществляется до температуры 160-180 °С. Выдержка пресс-формы с деталью под давлением не должна превышать 2 минуты, затем следует охлаждение на воздухе.

Дальнейшие исследования направлены на совершенствование предлагаемой технологии поверхностного упрочнения с целью расширения сферы ее применения и достижения более высоких эксплуатационных характеристик упрочняемых образцов. Также планируется исследование внедрения металлического порошка в процессе формирования изделия при аддитивном производстве, что позволит сократить число операций и производить упрочнение даже самых сложных криволинейных поверхностей.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №20-33-90298/20, конкурс «Аспиранты», 2020 г.

Список литературы

1. Исследование магнитотермического поверхностного армирования полимерных материалов / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, Н.В. Воронин, И.С. Филатов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. №7-2021. С. 37-39.

2. Study of Magneto-Thermal Surface Reinforcement of Polymeric Materials / Y. V. Rodionov, D. V. Nikitin, N. V. Voronin, I. S. Filatov // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 7-8. P. 595-600. DOI 10.1007/s10556-021-00981-2.

3. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров / Н.В. Воронин, Ю.В. Родионов, А.И. Скоморохова [и др.] // Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 85-97.

4. R.M. Santos, G.L. Botelho, A.V. Machado, J. Appl. Polym. Sci. Symp. 116 (2010) 2005–2014.

5. A. Afshar, D. Mihut, S. Hill, J. Baqersad, J. Compos. Mater. 51 (2017) 3711–3717.

6. J.M. Pérez, J.L. Vilas, J.M. Laza, S. Arnáiz, F. Mijangos, E. Bilbao, L.M. León, J. Polym. Environ. 18 (2010) 71–78.

7. Tripathi B. S., Gupta R., Reddy S. R. N. Three-dimensional printing: Revolutionary technology for academic use & prototype development //Transactions on Intelligent Welding Manufacturing. Springer, Singapore, 2019. С. 151-161.

8. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges / T. Ngo D. [et al.] // Composites Part B: Engineering. 2018. Т. 143. С. 172-196.

9. Afshar A., Mihut D. Enhancing durability of 3D printed polymer structures by metallization //Journal of Materials Science & Technology. 2020. Т. 53. С. 185-191.

10. Полимерные нанокомпозиты и изделия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полученные объемной штамповкой в твердой фазе / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, С. В. Мищенко [и др.] // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : Материалы VIII Международной научно-инновационной молодёжной конференции, Тамбов, 27–28 октября 2016 года. Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2016. С. 28-33.

11. Адгезионные свойства эпоксидного олигомера, модифицированного смесью двух термопластов / В. А. Костенко, Л. С. Бичевий, Ю. А. Горбаткина [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. № 9. С. 10-15. DOI 10.31044/1813-7008-2019-0-9-10-15.

12. Resource-saving production technology of products made of polymeric material: problem and solution / D. Y. Kobzev, P. V. Kombarova, A. N. Blokhin [et al.] // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 : Conference proceedings, Albena, Bulgaria, 02–08 июля 2018 года. Albena, Bulgaria: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2018. P. 275-280. DOI 10.5593/sgem2018/6.1/S24.037.

13. Chen J., Liu B., Gao X. Thermal properties of graphene-based polymer composite materials: A molecular dynamics study //Results in Physics. 2020. Т. 16. С. 102974.

14. Основные направления совершенствования сеялок точного высева пропашных культур / А. А. Завражнов, А. И. Завражнов, В. Ю. Шепелев, А. В. Якушев // Вестник НГИЭИ. 2022. № 1 (128). С. 7-21. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-1-7-21.

15. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома / Н. А. Пеньков, С. Ю. Жачкин, К. Ч. Колбая [и др.] // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2021. № 34. С. 70-72.

16. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. 2006. Т. 12. № 3-2. С. 779-784.

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

18. Pneumatic system of a seeder with pneumatic sowing / V. Konovalov, A. Kravtsov, V. Zaitsev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012131. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012131.

19. Влияние технологических параметров на процесс внедрения ферромагнитных материалов в поверхность термопластичных и термореактивных полимеров / Н. В. Воронин, И. С. Филатов, Ю. В. Родионов [и др.] // Наука в центральной России. 2021. № 4(52). С. 115-123. DOI 10.35887/2305-2538-2021-4-115-123.

20. Фарниев, А. С. Анализ свойств материалов, используемых в аддитивных технологиях, и особенности их влияния на формирование внутренних резьб / А. С. Фарниев, П. А. Новиков // Вестник современных технологий. 2020. № 3 (19). С. 42-46.

21. Пат. 2761191 C1 РФ, МПК C23C 26/00 C23C 24/08 C23C 14/35 C23C 4/06, Способ поверхностного упрочнения детали из полимерного материала / И.С. Филатов, Н.В. Воронин, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, Г.В. Рыбин, А.В. Щегольков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». № 2021106201; заявл. 11.03.2021; опубл. 06.12.2021. Бюл. № 34.

22. Развитие и модификация магнито-термического метода упрочнения деталей машин из термопластичных полимеров / Н. В. Воронин, И. С. Филатов, Ю. В. Родионов, А. В. Щегольков // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2.

References

1. Issledovanie magnitotermicheskogo poverkhnostnogo armirovaniya polimernykh materialov / Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, N.V. Voronin, I.S. Filatov // Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2021. No. 7-2021. P. 37-39.

2. Study of Magneto-Thermal Surface Reinforcement of Polymeric Materials / Y. V. Rodionov, D. V. Nikitin, N. V. Voronin, I. S. Filatov // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 7-8. P. 595-600. DOI 10.1007/s10556-021-00981-2.

3. Teoreticheskie issledovaniya kontaktnykh i izgibnykh napryazhenii lopatok rabochego kolesa i korpusa zhidkostnokol'tsevogo vakuumnogo nasosa iz polimerov / N.V. Voronin, Yu.V. Rodionov, A.I. Skomorokhova [i dr.] // Nauka v tsentral'noi Rossii. 2020. No. 3 (45). P. 85-97.

4. R.M. Santos, G.L. Botelho, A.V. Machado, J. Appl. Polym. Sci. Symp. 116 (2010) 2005–2014.

5. A. Afshar, D. Mihut, S. Hill, J. Baqersad, J. Compos. Mater. 51 (2017) 3711–3717.

6. J.M. Pérez, J.L. Vilas, J.M. Laza, S. Arnáiz, F. Mijangos, E. Bilbao, L.M. León, J. Polym. Environ. 18 (2010) 71–78.

7. Tripathi B. S., Gupta R., Reddy S. R. N. Three-dimensional printing: Revolutionary technology for academic use & prototype development //Transactions on Intelligent Welding Manufacturing. – Springer, Singapore, 2019. P. 151-161.

8. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges / T. Ngo D. [et al.] // Composites Part B: Engineering. 2018. T. 143. P. 172-196.

9. Afshar A., Mihut D. Enhancing durability of 3D printed polymer structures by metallization //Journal of Materials Science & Technology. 2020. T. 53. P. 185-191.

10. Polimernye nanokompozity i izdeliya na osnove sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena (SVMPE), poluchennye ob"emnoi shtampovkoi v tverdoi faze / G. S. Baronin, V. M. Buznik, S. V. Mishchenko [i dr.] // Sovremennye tverdofaznye tekhnologii: teoriya, praktika i innovatsionnyi menedzhment : Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-innovatsionnoi molodezhnoi konferentsii, Tambov, 27–28 oktyabrya 2016 goda. Tambov: IP Chesnokova A.V., 2016. P. 28-33.

11. Adgezionnye svoistva epoksidnogo oligomera, modifitsirovannogo smes'yu dvukh termoplastov / V. A. Kostenko, L. S. Bichevii, Yu. A. Gorbatkina [i dr.] // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2019. No. 9. P. 10-15. DOI 10.31044/1813-7008-2019-0-9-10-15.

12. Resource-saving production technology of products made of polymeric material: problem and solution / D. Y. Kobzev, P. V. Kombarova, A. N. Blokhin [et al.] // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 : Conference proceedings, Albena, Bulgaria, 02–08 iyulya 2018 goda. – Albena, Bulgaria: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu STEF92 Tekhnolodzhi, 2018. P. 275-280. DOI 10.5593/sgem2018/6.1/S24.037.

13. Chen J., Liu B., Gao X. Thermal properties of graphene-based polymer composite materials: A molecular dynamics study //Results in Physics. 2020. T. 16. P. 102974.

14. Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya seyalok tochnogo vyseva propashnykh kul'tur / A. A. Zavrazhnov, A. I. Zavrazhnov, V. Yu. Shepelev, A. V. Yakushev // Vestnik NGIEI. 2022. No. 1(128). P. 7-21. DOI 10.24412/2227-9407-2022-1-7-21.

15. Intensifikatsiya vosstanovleniya detalei sel'khozmashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove khroma / N. A. Pen'kov, S. Yu. Zhachkin, K. Ch. Kolbaya [i dr.] // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii. 2021. No. 34. P. 70-72.

16. Rodionov Yu.V. Liquid ring vane vacuum pumps. Trends in development of vacuum technology (in English) // Vestn. Tamb. gos. tekhn. un-ta. 2006. T. 12. No. 3-2. P. 779-784.

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

18. Pneumatic system of a seeder with pneumatic sowing / V. Konovalov, A. Kravtsov, V. Zaitsev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 sentyabrya 2019 goda. Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012131. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012131.

19. Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov na protsess vnedreniya ferromagnitnykh materialov v poverkhnost' termoplastichnykh i termoreaktivnykh polimerov / N. V. Voronin, I. S. Filatov, Yu. V. Rodionov [i dr.] // Nauka v tsentral'noi Rossii. 2021. No. 4(52). P. 115-123. DOI 10.35887/2305-2538-2021-4-115-123.

20. Farniev, A. S. Analiz svoistv materialov, ispol'zuemykh v additivnykh tekhnologiyakh, i osobennosti ikh vliyaniya na formirovanie vnutrennikh rez'b / A. S. Farniev, P. A. Novikov // Vestnik sovremennykh tekhnologii. – 2020. – No. 3(19). – P. 42-46.

21. Pat. 2761191 C1 RF, MPK C23C 26/00 C23C 24/08 C23C 14/35 C23C 4/06, Sposob poverkhnostnogo uprochneniya detali iz polimernogo materiala / I.S. Filatov, N.V. Voronin, Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, G.V. Rybin, A.V. Shchegol'kov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «TGTU». № 2021106201; zayavl. 11.03.2021; opubl. 06.12.2021. Byul. No. 34.

22. Razvitie i modifikatsiya magnito-termicheskogo metoda uprochneniya detalei mashin iz termoplastichnykh polimerov / N. V. Voronin, I. S. Filatov, Yu. V. Rodionov, A. V. Shchegol'kov // Nauka i Obrazovanie. 2021. T. 4. – No. 2.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, преподаватель Тамбовского областного государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Приборостроительный колледж», Россия, г. Тамбов, e-mail: ridder@mail.ru

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

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

Author credentials

Affiliations

Voronin Nikolay – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Philatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, Teacher of the Tambov Regional State Budgetary Professional Educational Institution "Instrument-Making College", Russia, Tambov, email: ridder@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, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

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

Поступила в редакцию (Received): 15.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 12.04.2022

УДК 621.9.047
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-134-142

МАССОПЕРЕНОС ПРИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ С ВЫРАВНИВАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ

[1]Жачкин Сергей Юрьевич
[2]Пеньков Никита Алексеевич
[3]Невструев Юрий Алексеевич
[1]БирюковАлександр Вячеславович
[2]Власов Дмитрий Александрович

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[2] ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
[3]ООО «Аквапаскаль»

Реферат. *Для получения размерных герметичных гальванических покрытий при восстановлении силовой гидравлической аппаратуры важна возможность управления шероховатостью формируемых осадков с обеспечением выравнивающей способности обрабатываемых деталей. Рассматривается модель, описывающая процесс конвективной диффузии композиционных частиц в гальваническую матрицу формируемого покрытия. Установлено, что представленную задачу можно описать классическим уравнением Лапласа. Однако аналитическое решение в существующей постановке не интегрируется в квадратурах. Для его решения использован численный метод, описанный Ватсоном и Эдвардсом. Он позволяет получить связь между электрическими характеристиками поля, благодаря разложению вторичного электрического поля на первичное поле и поле поляризации. Предполагается, что диффузия выравнивающей добавки происходит в поле, подобном первичному электрическому полю, а концентрация добавки непосредственно у поверхности электрода постоянна и равна нулю. Вычисляя величину выравнивающей добавки из кривых потенциал-концентрация при постоянной силе тока, было установлено качественное совпадение расчетной выравнивающей способности с экспериментально найденными значениями для хромового электролита. Полученные в ходе исследования зависимости указывают на экспоненциальный характер изменения микропрофиля формируемого гальванического покрытия со временем электролиза как в случае положительного, так и отрицательного выравнивания. Это подтверждается*

множеством экспериментальных данных, касающихся развития шероховатости в случае диффузионных ограничений. Предлагаемый алгоритм изложен достаточно ясно, что позволяет автоматизировать его для производства практических вычислений по численному интегрированию системы дифференциальных уравнений в частных производных с использованием ЭВМ.

Ключевые слова: *численные методы интегрирования, гальванические композиционные покрытия, шероховатость, концентрация включений, параметры микропрофиля.*

MASS TRANSFER DURING GALVANIC DEPOSITION OF COATINGS WITH A LEVELING ADDITIVE

[1]Zhachkin Sergey
[2]Penkov Nikita
[3]Nevstruev Yury
[1]Biryukov Alexander
[2]Vlasov Dmitry

[1] Voronezh State Technical University
[2] MERC AF «AFA»
[3] Aquapascal

Abstract.*The ability to control the roughness of the formed deposits with the provision of the leveling ability of the workpieces is important for obtaining dimensional sealed galvanic coatings when restoring power hydraulic equipment. A model that describes the process of convective diffusion of composite particles into the galvanic matrix of the formed coating is considered. It is established that the presented problem can be described by the classical Laplace equation. However, the analytical solution in the existing formulation isn't integrated in quadratures. The numerical method described by Watson and Edwards was used. It allows to get a connection between the electrical characteristics of the field due to the decomposition of the secondary electric field into the primary field and the polarization field. It is assumed that the diffusion of the leveling additive occurs in a field similar to the primary electric field, and the concentration of the additive directly at the electrode surface is constant and equal to zero. A qualitative agreement between the calculated leveling ability and the experimentally found values for the chromium electrolyte was established when determining the amount of the leveling additive from the potential-concentration curves at a constant current strength. The dependences obtained in the course of the study indicate the exponential nature of the change in the microprofile of the formed galvanic coating with the time of electrolysis, both in the case of positive and negative equalization. This is confirmed by a lot of experimental data concerning the development of roughness in the case of diffusion restrictions. The proposed algorithm is stated quite clearly, which makes it possible to automate it for the production of practical calculations on the numerical integration of a system of differential equations in partial derivatives using a computer.*

Keywords: *numerical methods of integration, galvanic composite coatings, roughness, concentration of inclusions, microprofile parameters.*

Введение. Из-за высокой степени брака деталей систем привода рабочих органов сельскохозяйственной техники очевидна актуальность получения размерных герметичных гальванических покрытий при восстановлении силовой гидравлической аппаратуры. Для получения таких покрытий важна возможность управления шероховатостью формируемых осадков с обеспечением выравнивающей способности обрабатываемых деталей.

Цель исследования. Численный расчет параметров микропрофиля восстанавливаемой поверхности силовой гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники с использованием теории конвективной диффузии.

Материалы и методы. При определении параметров микропрофиля формируемой поверхности использовались методы численного интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка.

Результаты и обсуждение. Известно дифференциальное уравнение, описывающее перенос вещества к электродной поверхности путем конвективной диффузии [1]. В том случае, когда жидкая среда неподвижна, это уравнение превращается в обычное уравнение Лапласа, характеризующее процесс стационарной молекулярной диффузии в виде:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0 \qquad (1)$$

Выражение, описывающее перенос вещества к электродной поверхности путем конвективной диффузии, является уравнением второго порядка в частных производных и с переменными коэффициентами. Для этого уравнения не может быть дано общего решения, так как компоненты скоростей движения жидкости должны быть заданы заранее и они, как правило, не зависят от распределения концентрации веществ в растворе. Точные решения этого уравнения могут быть получены только в некоторых очень простых геометрических системах. Так, удалось решить это уравнение в задаче переноса вещества к поверхности вращающегося диска [2]. В других геометрических условиях приходится прибегать к приближенному решению этого уравнения.

Шероховатая поверхность рассматривается в виде синусоидального профиля. На исходном профиле (граница с электролитом) первичное поле (рисунок 1а) в экстремальных точках А и В силатока можетбыть представлена в виде уравнений:

$$i_A = k_A i_{cp},\ i_B = k_B i_{cp}; \qquad (2)$$

где k_A и k_B – константы, связанные только с геометрической формой профиля.

Разность токов, очевидно, будет:

$$i_A - i_B = (k_A - k_B) i_{cp} = k \cdot i_{cp}. \qquad (3)$$

В реальном электрическом поле потенциал непостоянен и меняется вдоль профиля. Картина линий тока и характер распределения тока в этом случае будут другими (рисунок 1б). Это поле может быть расчленено на первичное и тангенциальное, существующее за счет разностей потенциалов по длине профиля:

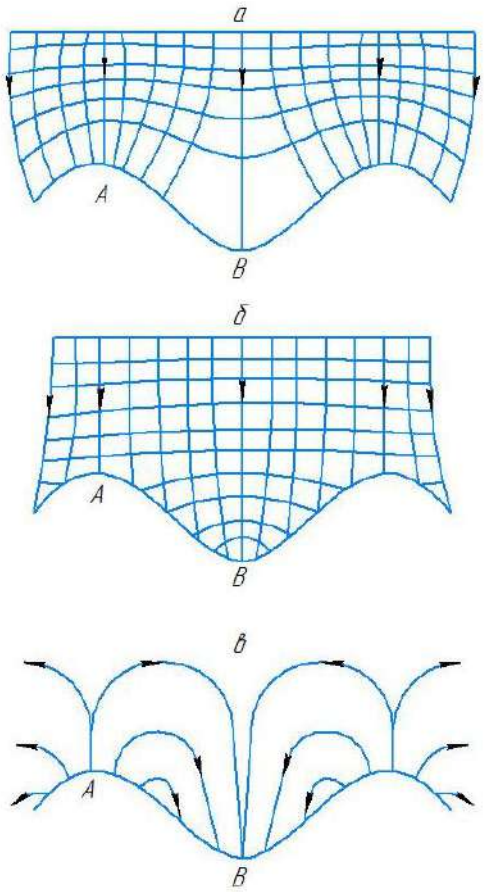
$$i'_A = i_A + i''_A;\ i_{B'} = i_B + i''_B. \qquad (4)$$

Индексы со штрихом и двумя штрихами относятся соответственно к реальному и тангенциальному полям. Так как среднее значение тока в первичном и в реальном полях берется одинаковым, то средний ток в поле поляризации (рис. 1в) должен быть равен нулю. Это означает, что из одних точек (лежащих у выступов) ток течет в одном направлении, а из других (лежащих во впадинах х) — в другом. В простейшем случае можно положить, что плотность тока в экстремальных точках поля (рисунок 1в) будет одинакова по абсолютной величине, но противоположна по знаку:

$$-i'_A = i''_B = i_S. \qquad (5)$$

Силу тангенциального тока можно приближённо выразить по закону Ома соотношением:

$$i_S = -\frac{\Delta\tau}{R}, \qquad (6)$$



а — первичное, б — при выравнивании, в — поле поляризации

Рисунок 1 - Электрические поля на синусоидальном профиле:

где $\Delta\tau$ — разность потенциалов между экстремальными точками, R — величина, пропорциональная омическому сопротивлению раствора. Совершенно очевидно, что R зависит как от геометрии профиля, так и от удельного сопротивления раствора. Разность токов в реальном поле $\Delta i'$ на основании (3)–(6) может быть выражена:

$$\Delta i' = i'_A - i'_B = i_A - i_B - 2i_S. \quad (7)$$

И наконец:

$$\Delta i' = k i_{cp} + \frac{2\Delta V}{R}, \quad (8)$$

откуда

$$\Delta V = -\frac{R}{2}\left(k i_{cp} + \Delta i'\right). \quad 9)$$

Прием, использованный Ватсоном и Эдвардсом взамен точного решения уравнения Лапласа и приводящий к связям между электрическими характеристиками поля, аналогичен ранее описанному приему разложения вторичного электрического поля на первичное поле и поле поляризации [1, 3].

В дальнейшем будем пользоваться аналогией распределения концентрации в поле диффузии и потенциала в электрическом поле, происходящем по одному и тому же дифференциальному закону, выраженному уравнением Лапласа. Диффузия выравнивающей добавки происходит в поле, подобном первичному электрическому полю, полагая, что концентрация добавки непосредственно у поверхности электрода постоянна и равна нулю. В глубину раствора от электродной поверхности простирается диффузионный пограничный слой. Искусственное или естественное перемешивание раствора делают на границе этого слоя концентрацию диффундирующего вещества постоянной подобно тому, как в электрическом поле на некотором расстоянии от шероховатой поверхности потенциал тоже становится постоянным. Таким образом, между диффузионными и электрическими условиями на границе вдали от электрода существует подобие. Аналогия первичного электрического поля и поля диффузии позволяет для потока добавки в экстремальных точках написать:

$$U_B = k_B U_{cp}, \qquad U_A = k_A U_{cp} \tag{10}$$

где k_A и k_B– те же константы, что и в первичном поле. Поскольку концентрация выравнивающей добавки на поверхности электрода равна нулю, то скорость диффузии (U) может быть выражена через объемную концентрацию добавки (C) равенством:

$$U = D\frac{C}{\delta}\cdot \tag{11}$$

На основании (11) можно записать:

$$U_B = D\frac{k_B C}{\delta}, \qquad U_A = D\frac{k_A C}{\delta}. \tag{12}$$

Из последних соотношений видно, что скорость диффузии к точкам А и В микропрофиля тождественна скорости диффузии на плоскую поверхность соответственно из растворов с объемной концентрацией добавки kBC и kAC. Таким образом, для расчета доставки добавки к экстремальным точкам можно использовать «эквивалентные объемные концентрации» между пиком и впадиной, если допустить диффузию на плоскую поверхность. Для разницы в эквивалентных объемных концентрациях между экстремальными точками можно установить, что:

$$\left[\begin{array}{l} \Delta C = \left(k_B - k_A\right)C, \\ \Delta C = kC. \end{array}\right. \tag{13}$$

Поскольку потенциал может считаться непрерывной функцией концентрации добавки и плотности тока [3], то должно иметь место следующее дифференциальное соотношение:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial C}dC + \frac{\partial V}{\partial i}di\cdot \tag{14}$$

Переходя от дифференциалов к конечным приращениям, получим:

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial C}\Delta C + \frac{\partial V}{\partial i}\Delta i\cdot \tag{15}$$

Учтя (9) и (13), из (15) можно записать:

$$\Delta i = \frac{-k\left(C\dfrac{\partial V}{\partial c} + \dfrac{R}{2}i\right)}{\dfrac{\partial V}{\partial i} - \dfrac{R}{2}}\cdot \tag{16}$$

Взяв в качестве критерия выравнивающей способности (ВС) отношение $\Delta i/i$, окончательно будем иметь:

$$BC = \frac{\Delta i}{i} = \frac{k\left(C\frac{\partial V}{\partial C} + \frac{Ri}{2}\right)}{i\left(\frac{\partial V}{\partial i} + \frac{R}{2}\right)}, \quad (17)$$

а если пренебречь сопротивлением электролита, то:

$$BC = \frac{\Delta i}{i} = \frac{kC\partial V/\partial C}{i\,\partial V/\partial i}. \quad (18)$$

Вычисляя величину выравнивающейдобавкиз кривых потенциал-концентрации при постоянной силе тока, былоустановлено качественное совпадение расчетной выравнивающей способности с экспериментально найденными значениями для хромового электролита.

Более точные данные можно получить, если следовать рекомендациям [4] и в качестве исходного выражения в расчете использовать:

$$\frac{dH}{d\tau} = \frac{M}{2\gamma nF}\left[2\left(\frac{\partial i}{\partial \delta}\right)H + \left(\frac{\partial i}{\partial C_i}\right)\Delta C_i\right], \quad (19)$$

в котором H – разница уровней между экстремальными точками профиля (амплитуда шероховатости), τ – время; M, γ и n – молекулярный вес, плотность и валентность осаждаемого металла, δ – толщина диффузионного пограничного слоя, C_i – объемная концентрация органической добавки в осаждаемом металле, ΔC_i – разница в концентрациях добавки между наивысшей и наинизшей точками микропрофиля.

В уравнении (19) будем считать:

$$\frac{dH}{d\tau} = \frac{M}{\gamma nF}(i_B - i_A); \; i_B = nFD\left(\frac{\partial C}{dy}\right)_B; \; i_A = nFD\left(\frac{\partial C}{dy}\right)_A. \quad (20)$$

Выражение, заключенное в квадратных скобках в (19), было получено после разложения в ряде локальных значений плотностей тока, представляемых в виде функции расстояния данной точки поверхности до внешней границы диффузионного слоя и объемной концентрации органической добавки в металле. Отбрасывание членов ряда в высших степенях и замена дифференциалов конечными разностями равносильно допущению о линейном виде зависимости тока от высоты уровня шероховатого профиля и концентрации выравнивающей добавки в осадке. Последующие вычисления касаются определения величиныΔC_i. Будем полагать, что линейное распределение концентрации в диффузионном слое при длине волны профиля много больше толщины диффузионного слоя [3]. Рассматривая одномерную диффузию, можно записать:

$$\frac{\partial i}{\partial \delta} = \frac{i_{cp}}{\delta}. \quad (21)$$

В другом месте для синусоидального профиля на основании двухмерной диффузии легко видеть, что:

$$\frac{\partial i}{\partial \delta} = \frac{2\pi i}{a} cth\frac{2\delta\pi}{a}. \quad (22)$$

Производная в данном случае определялась из уравнения поляризационной кривой после предположения, что при малых концентрациях выравнивающей добавки существует линейная зависимость свободного члена в уравнении от C_i, а именно:

$$\eta = a + bC_i + b\ln i. \quad (23)$$

Для производной из (23) имеем:

$$\frac{\partial i}{\partial C_i} = -\frac{\beta i}{b}. \tag{24}$$

Разность концентраций органических включений между наивысшими и наинизшими точками профиля ΔC_i определялась из равенства:

$$\Delta C_i = \frac{f_B - f_A}{V} = \frac{(f_B - f_A)\gamma nF}{iM}, \tag{25}$$

где f_B и f_A – диффузионные потоки к экстремальным точкам профиля, V – объем металла, осаждающийся в единицу времени. Далее с учетом двухмерной диффузии и допущения, это концентрация добавки у поверхности металла равна нулю, было найдено:

$$f_B - f_A = \frac{4\pi D_i C_i H}{a\delta} cth\frac{2\delta\pi}{a}, \tag{26}$$

откуда следует на основании (25):

$$\Delta C_i = \frac{4\pi\gamma nFD_i C_i H}{a\delta} cth\frac{2\delta\pi}{a}. \tag{27}$$

После подстановки (22), (23) и (27) в (19) и интегрирования получаем уравнение:

$$\ln\frac{H_0}{H_\tau} = -\frac{2\pi M}{\gamma nFa} cth\left(\frac{2\delta\pi}{a}\right)\left[i - \left(\frac{\beta\gamma nFD_i C_i}{b\delta M}\right)\right]\tau. \tag{28}$$

Если член перед τ в (28) обозначить через k, то:

$$\ln\frac{H_0}{H_\tau} = -k\tau,\ H_\tau = H_0 e^{-k\tau}; \tag{29}$$

что указывает на экспоненциальный характер изменения микропрофиля со временем электролиза как в случае положительного, так и отрицательного выравнивания. Этот результат хорошо подтверждается многими экспериментальными данными, касающимися развития шероховатости в случае диффузионных ограничений.

Выводы. Предложенный метод определения параметров микропрофиля позволяет, зная характеристики изношенной детали и пользуясь предложенным алгоритмом проведения расчетов процесса диффузии композиционных частиц в формируемое покрытие, выбрать такие параметры процесса гальванического осаждения, которые бы обеспечили получение восстановленного изделия с заранее заданными физико-механическими показателями.

Список литературы

1. Ваграмян А.Т., Соловьева З.А. «Методы исследования электроосаждения металлов». – М.: Изд. 2-е, АН СССР, 1960. – 448 с.
2. Горбунова К.М., Никифорова А.А. «Физико-химические основы процесса химического никелирования». – М.: Изд. АН СССР, 1960.
3. Каданер Л.И. «Равномерность гальванических покрытий». – Харьков: Изд-во ХГУ, 1961.
4. Шлугер М.А. Ускорение и усовершенствование хромирования деталей машин. – М.: Машгиз, 1961. – 140 с.
5. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев – Саратов, 1975. – 216 с.
6. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин – М., 1975. –400 с.
7. Бурова И. Г. Аппроксимация вещественными и комплексными минимальными сплайнами. Учебное пособие / И.Г. Бурова. – М.: Издательство СПбГУ, 2018. – 144 с.
8. Жачкин, С.Ю. Аналитическая оценка свойств дисперсно-упрочненных гальванических композитных многослойных покрытий / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов, К.А. Манаенков // Мичуринск: Вестник МичГАУ, 2015. – № 1. – С. 142–150.

9. Zhachkin,S.Yu. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings /S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.N. Krasnova// Engineering Studies. – 2017. – Vol. 9, is. 3(2). – P. 529–536.
10. Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей // Воронеж: ВГТУ, 2002. – 138 с.
11. Жачкин С.Ю. Нанесение размерных композитных хромовых покрытий методом гальваноконтактного осаждения / С.Ю. Жачкин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 7. – С. 44–48.

References

1. Vagramyan A.T., Solov'eva Z.A. «Metody issledovaniya elektroosazhdeniya metallov». – M.: Izd. 2-e, AN SSSR, 1960. – 448 s.

2. Gorbunova K.M., Nikiforova A.A. «Fiziko-himicheskie osnovy processa himicheskogo nikelirovaniya». – M.: Izd. AN SSSR, 1960.

3. Kadaner L.I. «Ravnomernost' gal'vanicheskih pokrytij». – Har'kov: Izd-vo HGU, 1961.

4. SHluger M.A. Uskorenie i usovershenstvovanie hromirovaniya detalej mashin. – M.: Mashgiz, 1961. – 140 s.

5. Evseev D.G. Formirovanie svojstv poverhnostnyh sloev pri abrazivnoj obrabotke / D.G. Evseev – Saratov, 1975. – 216 s.

6. Malinin N.N. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N.N. Malinin – M., 1975. –400 s.

7. Burova I. G. Approksimaciya veshchestvennymi i kompleksnymi minimal'nymi splajnami. Uchebnoe posobie / I.G. Burova. – M.: Izdatel'stvo SPbGU, 2018. – 144 c.

8. ZHachkin, S.YU. Analiticheskaya ocenka svojstv dispersno-uprochnennyh gal'vanicheskih kompozitnyh mnogoslojnyh pokrytij / S.YU. ZHachkin, N.A. Pen'kov, A.I. Krasnov, K.A. Manaenkov // Michurinsk: Vestnik MichGAU, 2015. – № 1. – S. 142–150.

9. Zhachkin,S.Yu. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings /S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.N. Krasnova// Engineering Studies. – 2017. – Vol. 9, is. 3(2). – P. 529–536.

10.ZHachkin S.YU. Holodnoe gal'vanokontaktnoe vosstanovlenie detalej // Voronezh: VGTU, 2002. – 138 s.

11.ZHachkin S.YU. Nanesenie razmernyh kompozitnyh hromovyh pokrytij metodom gal'vanokontaktnogo osazhdeniya / S.YU. ZHachkin // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. – 2006. – № 7. – S. 44–48.

Сведения об авторах:
Принадлежность к организации

Жачкин Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Россия, г. Воронеж, e-mail: zhach@list.ru.

Пеньков Никита Алексеевич –кандидат технических наук, начальник лаборатории ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, г. Воронеж, e-mail: myth_np_nikit@mail.ru.

Невструев Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер ООО «Аквапаскаль», Россия, г. Воронеж, e-mail: serg24012@mail.ru.

Бирюков Александр Вячеславович – аспирант кафедры АОМП ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Россия, г. Воронеж, e-mail: snikishin24@bk.ru.

ВласовДмитрий Александрович – инструктор практического обучения ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, г. Воронеж, e-mail: myth7np7nikit@gmail.com.

Affiliation

Zhachkin Sergey Yurievich – doctor of technical sciences, professor, Professor of the department of Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, e-mail: zhach@list.ru.

Penkov Nikita Alekseevich – candidate of technical sciences, head of laboratory MERC AF «AFA», Russia, Voronezh, e-mail: myth_np_nikit@mail.ru.

Nevstruev Yury Alekseevich – candidate of technical sciences, docent, lead engineer Aquapascal, Russia, Voronezh, e-mail: serg24012@mail.ru.

Biryukov Alexander Vyacheslavovich – postgraduate student of the department of AEEP of Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, e-mail: snikishin24@bk.ru.

Vlasov Dmitry Alexandrovich – practical training instructor MERC AF «AFA», Russia, Voronezh, e-mail: myth7np7nikit@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 17.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 21.04.2022

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-142-147

ОЧИСТКА СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

[1]Кошелев Александр Викторович

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

Реферат. *В результате анализа состояния вопроса повышения эффективности использования техники и продления сроков ее службы в предприятиях АПК определено, что отказ от операции промывки системы смазки после замены отработавшего свой срок моторного масла приводит к снижению эксплуатационных характеристик дизельных двигателей тракторов, снижается срок службы свежего заправленного масла. В ходе моделирования процесса промывки масляных каналов установлено, что товарное масло М-10Г$_2$ не в полной мере обеспечивает удаление загрязнений из системы по сравнению со специальными промывочными маслами. Так, в результате предварительных экспериментальных исследований установлено, что при давлении 4 кг/см^2 содержание нерастворимого осадка в масле М-10Г$_2$ снижается на 0,1-0,2%. По мере повышения давления до 8 кг/см^2 эти показатели улучшаются. Одной из задач повышения эффективности промывки системы смазки является снижение затрат на выполнение данной операции. В связи с этим принято решение по использованию отработавшего свой срок моторного масла в качестве промывочного масла. В лабораторных условиях рассмотрена возможность удаления из отработанного масла загрязнения. Для этих целей в нагретое масло вносились коагулянты и проводилась операция по очистке масла в лабораторной центрифуге. После чего проводилась оценка моющих свойств масла М-10Г$_2$, промывочного масла марки «Волга» и очищенного отработанного масла, позволявшая установить достаточно высокие моющие свойства товарного масла и очищенного отработанного моторного масла. Рассмотрена возможность очистки системы смазки отработанным моторным маслом без его слива в картере двигателя. Установлено, что внесение в картер двигателя 2% масс раствора карбамида в гидроксиде аммония позволяет укрупнить частицы загрязнения с последующим их удалением встроенной в систему смазки центрифугой. Толщина слоя осадка на стенках центрифуги за 30 минут работы двигателя на масле с добавками составляла 20 мм, в то время как за период наработки 200 часов равнялось 15 мм. Цвет масла в единицах ЦНТ изменился с 7 до 3,5.*

Ключевые слова: *система смазки, загрязнения, промывка, очистка масла без слива из картера двигателя, толщина слоя осадка.*

CLEANING OF TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM

[1]Koshelev Alexander

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

Abstract. *As a result of the analysis of the state of the issue of increasing the efficiency of the use of machinery and extending the service life in agricultural enterprises, it was determined that the refusal of the operation of flushing the lubrication system after replacing the engine oil that has expired reduces the operational characteristics of diesel engines of tractors, the service life of freshly refilled oil decreases. It was established in the course of modeling the process of flushing oil channels that commercial oil M-10G2 does not fully ensure the removal of contaminants from the system compared to special flushing oils. Thus, as a result of preliminary experimental studies, it was found that at a pressure of 4 kg / cm2, the content of insoluble precipitate in M-10G2 oil decreases by 0.1-0.2%. As the pressure increases to 8 kg / cm2, these indicators improve. One of the tasks of increasing the efficiency of flushing the lubrication system is to reduce the cost of improving this operation. In this regard, it was decided to use the engine oil that has been used for its life as a washing oil. In laboratory conditions, the possibility of removing contamination from the waste oil was considered. For these purposes, coagulants were introduced into the heated oil and an oil purification operation was carried out in a laboratory centrifuge. After that, the washing properties of the M-10G2 oil of the Volga brand washing oil and purified waste oil were evaluated, which allowed to establish sufficiently high washing properties of commercial oil and purified used engine oil. The possibility of cleaning the lubrication system with used engine oil without draining it from the engine crankcase is considered. It was found that the introduction of a 2% mass solution of urea in ammonium hydroxide into the crankcase of the engine makes it possible to enlarge the contamination particles with their subsequent removal by a centrifuge built into the lubrication system. The thickness of the sediment layer on the walls of the centrifuge for 30 minutes of engine operation on oil with additives was 20 mm, while for a period of 200 hours it was 15 minutes. The color of the oil in CST units has changed from 7 to 3.5.*

Key words*: lubrication system, pollution, flushing, oil purification without draining from the crankcase of the engine, the thickness of the sediment layer.*

Введение. По мере работы двигателей тракторов в системе смазки накапливаются загрязнения, которые снижают эксплуатационные характеристики, производственные показатели, сроки выполнения работ машиной [1,2,3].

Образующиеся загрязнения зашлаковывают масляные каналы, ухудшают проход масла и его охлаждение. На поршнях и других деталях образуются смолистые, твердые отложения, снижая мощность и компрессию двигателя. В целом снижается срок службы и ресурс работы узлов и деталей машин [4,5].

Следствиями образования нагаров, загрязнений является низкое качество масла, используемого дизельного топлива, техническое состояние двигателя, и т.д.

Чаще всего загрязнению подвержены поддоны картеров [6,7,8] и масляные каналы, которые после заправки свежего масла, при смешивании осадка с чистым маслом создают «эффект изменения цвета» быстрого загрязнения масла.

Безусловно при заправке свежего масла в картер, происходит смыв отработанного масла с деталей, нагаров, которые вызывают увеличение кислотного числа масла, что влияет на срок его службы до замены.

Для решения вопросов снижения вышеприведенных задач существует промывочное масло. И в технологии замены отработанного масла предусмотрена операция промывки системы смазки. Однако существует ряд объективных и субъективных причин отказа от применения промывочного масла в реальных условиях эксплуатации:

- недостаточно высокое качество масел для промывки систем смазки дизельных двигателей тракторов;
- объём используемых для промывки масел достаточно велик, что влечет за собой увеличение затрат на ТО;

- низкий уровень инженерно-технической базы и квалификации специалистов в АПК.

Методика проведения исследований. Первоначально исследования проводятся метом моделирования. На поверхности труб (каналов) наносится субстанция, представляющая собой некий аналог загрязнений в картере двигателя. Моторное масло М-10Г$_2$ разогревается до температуры 80º*С*. Масло под давлением 4 и 8 кг/см^2 пропускается через трубу в течении 30 минут. Далее по загрязненности масла оценивается степень очистки трубы. По цвету масла оценивают эффективность промывки системы смазки.

На втором этапе готовится разъёмная труба Ø20 мм. На внутренние стенки трубы наносится смолистая смесь. Эта смесь прогревается открытым пламенем с наружной стороны трубы до образования твердых отложений. Далее части труб соединяются болтами. Конструкция и внешний вид устройства представлены на риснке1.

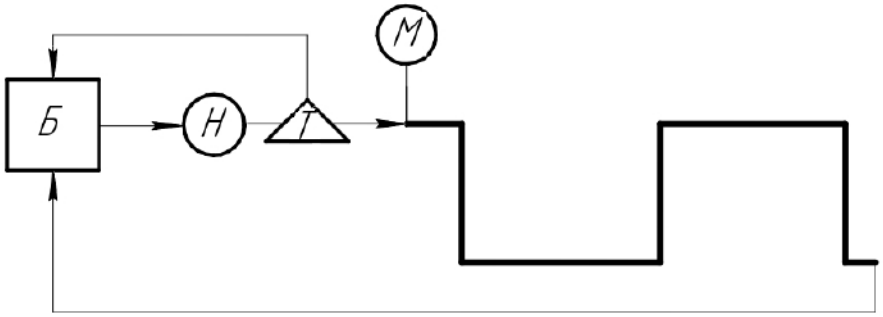


Рисунок 1 - Принципиальная схема устройства для оценки эффективности промывки смазочных каналов

В баке «Б» происходит очистка загрязнённого моторного масла. Для этих целей в бак «Б» заправляется отработанное моторное масло. Проводится нагрев до температуры 80º*С*. Далее в бак вносится 2% -ный раствор карбамида в гидроксиде аммония в соотношении 50:50 и нагревается до 120º*С*. Очищенное масло закачивается насосом «Н» в систему труб под давлением, регулируемым клапаном «Т» и контролируется манометром «М». Эффективность очистки определяется по загрязненности масла и чистоте внутренних стенок труб.

В дополнение проводят анализ масла на содержание нерастворимого осадка и механических примесей.

Результаты исследований и их обсуждение. Как отмечалось ранее, загрязнённость системы смазки снижает эксплуатационные характеристики двигателя. Уменьшает его ресурс до ремонта и влияет в целом на экономические показатели эффективности сельскохозяйственной техники.

Анализируя полученные данные следует отметить, что давление масляного потока позволяет удалить загрязнения с поверхностей. При этом содержание механических примесей, соответственно 0,1% и 0,2% в первом и во втором случае. Данные факты объясняются присутствием в масле удаляемых смол.

В той же системе трубопроводов проводилась оценка моющих свойств жидкостей в сравнительном режиме с маслом М-10Г$_2$, при температуре масла 80º*С,* при давлении 8 кг/см^2.

Содержание механических примесей остается на прежнем уровне, а содержание нерастворимого осадка снизилось практически на 20% по сравнению с промывочным маслом.

Как утверждалось ранее использование товарных масел не всегда является ресурсосберегающим фактором, а особенно данный факт характерен для устаревшей техники, где дополнительные затраты на ТО, как правило являются финансовыми проблемами для сельхозпредприятий.

С целью снижения затрат и решения вопроса ресурсосбережения при ТО, предлагается использовать работающее масло в качестве промывочной жидкости.

Несмотря на то, что моющие свойства отработанных масел находятся на низком уровне, проводимые исследования предполагают решение задач ресурсосбережения.

В данном контексте проводились исследования по очитке отработанных масел для их использования в качестве промывочных жидкостей. Для этих целей отработанное масло из двигателя Д-240 сливалось и проводилась его очистка карбамидом и гидроксидом аммония, готовилась смесь в пропорции 50/50 и вносилась в масло в соотношении 2% от объёма масла. После этого приготовленная смесь перемешивалась и нагревалась до температуры 120º*С*. Перемешивание происходило до появления коагуляционных процессов. Контроль процесса проводился на фильтровальной бумаге, после чего масло очищалось на реактивной центрифуге. Очищенное масло заправлялось в рассматриваемую систему. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний очищенного масла, товарного масла М-10Г$_2$, и товарного промывочного масла «Волга»

Показатели	Товарное масло (загрязненное) М-10Г$_2$	Товарное промывочное масло «Волга»	Очищенное моторное масло (загрязненное)
Содержание механических примесей (%)	0,8	0,9	1,7
Содержание нерастворимого осадка (%)	0,9	1,1	1,2

Предлагаемые методы очистки предусматривают использование специального оборудования, однако это не всегда представляется возможным, особенно в полевых условиях.

В ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывается способ промывки, заключающийся в следующем. Двигатель прогревают до температуры масла 80º*С*. Далее готовят раствор, состоящий из гидроксида аммония и карбамида, в пропорции 50/50 в соотношении 2% к объему масла. Следует отметить, что двигатель должен быть оснащен центрифугой. Перед началом процесса очистки центрифуга очищается от загрязнений. Далее в картер двигателя через заливную горловину заливается коагулирующая жидкость. Двигатель запускается и работает на холостом ходу в течение 15 минут. Через 15 минут проводится анализ качества прохождения процесса коагуляции на фильтровальной бумаге. Далее обороты двигателя увеличивают до 1500 об/мин на 15 мин. После этого двигатель останавливают о проводят очистку центрифуги от загрязнений. На рисунке 2 показана толщина слоя осадка за определенный период работы центрифуги и изменение цвета масла.

Оценка динамики изменения величины осадка показывает, что данная характеристика может отличаться от известных зависимостей, т.к. при высокой загруженности двигателя, низком качестве масла и дизельного топлива данный показатель может быть выше.

Значительное количество экспериментов показывает, что конечный результат по цвету масла в двигателе 3,5-4,5 баллов в единицах ЦНТ. Что соответствует значению товарного масла, выпускаемого по ТУ.

Остается не до конца ясным вопрос эффективности действия присадок, их остаточное содержание, как правило, не превышает 30%.

Такие показатели, как вязкость, температура вспышки, щелочное и кислотное число соответствует требованиям, предъявляемым к маслу М-8Г$_2$. А именно вязкость кинематическая – 8мм/с^2, щелочное число 3 мг КОН/г, температур вспышки 200º*С*.

Оценка повторного использования очищенного моторного масла М-10Г$_2$ в качестве промывочного масла показала его достаточно высокие моющие свойства.

Масло заправлялось в двигатель Д-240 и проводилась очистка системы смазки после слива отработанного масла.

Эффективность очистки системы оценивалось по изменению физико-химических показателей моторного масла М-10Г$_2$.

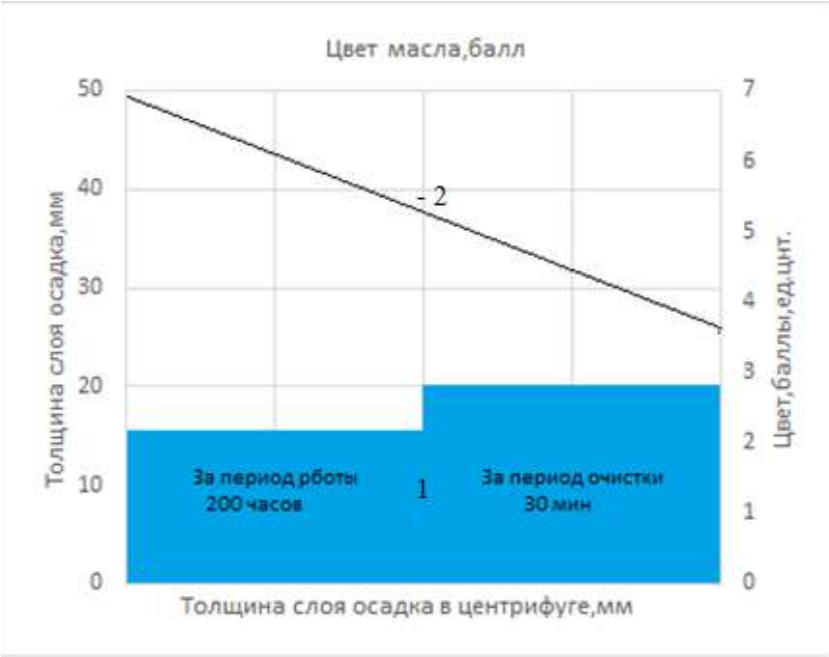


Рисунок 2 - Динамика изменения загрязнённости (1) и цвета масла (2) в процессе очистки

На рисунке 3 показаны зависимости изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла в зависимости от времени очистки.

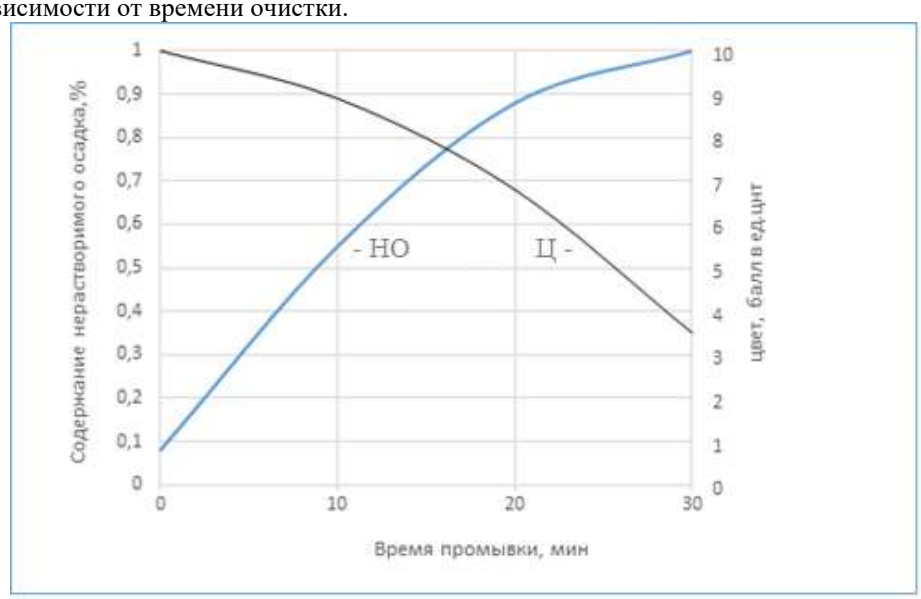


Рисунок 3 - Зависимость изменения загрязнения масла от времени промывки двигателя; НО – нерастворимый осадок, Ц – цвет масла

Определено, что повторное применение отработанного очищенного масла в среднефорсированных двигателях для промывки системы смазки позволяет удалить большую часть загрязнений. Исходя из анализа отработавшего в двигателе масла установлено, что содержание нерастворимого осадка увеличивается с 0,08% до 0,95%, при этом цвет масла изменяется с прозрачного коричнево-красного 4,5 балла до 9 баллов и приобретает черный цвет.

Заключение. В результате всего комплекса исследований установлено, что товарное масло М-10$Г_2$ имеет более низкие моющие свойства по сравнению с товарным моющим маслом для удаления загрязнений из системы смазки двигателей тракторов. В процессе очистки отработанного масла и удаления загрязнений с поверхности металла определено, что содержание загрязнений на 20-30% меньше, чем при использовании товарного промывочного масла. Это при том, что давление в системе составляло 4кг/см^2, а время промывки составляло 30 минут. Рассмотрена возможность очистки масел и систем смазки без слива отработанного масла из картера двигателя. Установлено превосходство предлагаемого способа по сравнению с очисткой в принятом режиме в центрифуге. Толщина слоя загрязнения в роторе центрифуге по рассмотренному способу за 30 минут практически аналогична периоду очистки за 200 часов работы двигателя.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Москва: Техинформ, 1999. 596 с.

2. Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2017. – 391 с.

3. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Химия, 1979. 240 с.

4. Лышко Г.П. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Москва: Колос, 1979. 256 с.

5. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей в АПК. уч. пособие/ С.В.Стребков, В.В. Стрельцов – Белгород БГСХА, 1999. 404с.

6. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей – изд. стандарт 1981. 232 с.

7. Lesli R. Rudnik. Lubricant additives: chemistry and applications. – 2nd. ed. 2008. 778p.

8. Итинская Н.И. Экономное использование нефтепродуктов. - Колос. -1984. 175с.

References

1. Shkolnikov V.M. Fuels, lubricants, technical fluids. Moscow: Techinform, 1999. 596 p.

2. Ostrikov V.V., Petrashev A.I., Sazonov S.N., Orobinsky V.I., Afonichev D.N. Fuel, lubricants and technical fluids: a textbook. Voronezh: Voronezh State University, 2017. - 391 p.

3. Wenzel S.V. The use of lubricating oils in automobile and tractor engines. M.: Chemistry, 1979. 240 p.

4. Lyshko G.P. Fuel, lubricants and technical fluids. Moscow: Kolos, 1979. 256 p.

5. The use of fuel, lubricants and technical fluids in agriculture. textbook/ S.V.Strebkov, V.V. Streltsov - Belgorod BGSHA, 1999. 404s.

6. Grigoriev M.A. Engine oil quality and engine reliability - ed. standards 1981. 232 p.

7. Leslie R. Rudnick. Lubricant additives: chemistry and applications– - 2nd. ed. 2008. 778p.

8. Itinskaya N.I. Economical use of petroleum products. - Ear. -1984. 175c.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Кошелев Александр Викторович – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Author credentials

Affiliations

Koshelev Alexander Viktorovich - junior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Поступила в редакцию (Received): 17.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 12.03.2022

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 29.04.2022. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 15,54 усл. печ. л. Тираж 100 экз.