ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2021 № 6 (54)

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

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 6 (54), 2021 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
СТРЕБКОВ Дмитрий Семенович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председатель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергии, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки 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.
№ 6 (54). Дата выхода в свет 30.12.2021. 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», 2021

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 6 (54), 2021 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АНАШКИН Александр Витальевич – ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, 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 эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике 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 организации 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 альтернативных источников энергии 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», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Завражнов А.А., Завражнов А.И., Земляной А.А., Ланцев В.Ю., Мишин Б.С., Крецу Н.И., Шепелев В.Ю., Якушев А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ ВАКУУМНО-ДИСКОВОГО ТИПА 5
Завражнов А.А., Завражнов А.И., Земляной А.А., Ланцев В.Ю., Мишин Б.С., Крецу Н.И., Шепелев В.Ю., Якушев А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА С ВЫСЕВАЮЩИМИ АППАРАТАМИ ВАКУУМНО-ДИСКОВОГО ТИПА.....17
Пурусов Ю.М., Томилов А.А., Леонтьев К.Н., Ломовских А.Е., Германович А.С.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТЯГИ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С УЧЕТОМ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА.....30
Шварц А.А., Шварц С.А., Уварова А.Г., Таныгин О.Ф., Лукин С.Г.
ДИНАМИКА РОТАЦИОННЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИГОЛЬЧАТОГО ТИПА.....39
Киров Ю.А., Иванайский С.А., Афонин А.Е., Иванайский М.С.
РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ В МЕТРОВОМ СЛОЕ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЕЁ ОБРАБОТКИ 49
Чернышов А.В., Оробинский В.И., Гиевский А.М., Баскаков И.В., Подорванов Д.А.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГРАВИТАЦИОННАГО ПРИЕМНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С ВИБРОКЛАПАНОМ 56
Пиляев С.Н., Еремин М.Ю., Аксенов И.И., Афоничева Д.Д.
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРОГРАММЕ SIMINTECH.....67
Бондаренко И.И., Михалков В.В., Сергеев К.Л., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Скоморохова А.И.
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ OFFLINE/ONLINE КОНТРОЛЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС» 76
Зазуля А.Н., Гаспарян С.В., Макарова О.В., Хрипин В.А., Борычев С.Н, Макаров В.А.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБАЙНОВ В ЗЕРНОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ 83
Доровских В.И., Шулаев Г.М., Милушев Р.К., Жариков В.С.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВ 89
Филиппова О.Б.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ 95
Остриков В.В., Жерновников Д.Н., Петрашев А.И., Ерохин Г.Н., Нагдаев В.К.
ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА И КОРРОЗИИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В ПЕРИОД ДЛИТЕЛЬНОГО ПРОСТОЯ 100
Курьято Н.А., Дорохов А.В., Князева Л.Г.
ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПРОТИВОКОРРОЗИОННУЮ ДОБАВКУ М-531 105
Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Краснова М.Н., Стрункин П.В.
КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ 112
Завражнов А.А., Завражнов А.И., Ланцев В.Ю., Мишин Б.С., Шепелев В.Ю., Якушев А.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСЕВАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК (ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗНАЧЕНИЯ) СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА 120

CONTENTS

Zavrazhnov *A*., Zavrazhnov *A*., Zemlyanoy *A*., Lantsev *V*., Mishin *B*., Kretsu *N*., Shepelev *V*., Yakushev *A*.
SEDDING UNITS OF VACUUM-DISC TYPE (ON THE EXAMPLE OF THE SOWING DEVICE OF THE PRECISION SEEDING MACHINE MS-8 MANUFACTURED BY PJSC "MILLEROVOSELMASH") 5
Zavrazhnov *A*., Zavrazhnov *A*., Zemlyanoy *A*., Lantsev *V*., Mishin *B*., Kretsu *N*., Shepelev *V*., Yakushev *A*.
RESEARCH OF TECHICAL CHARACTERISTICS OF PRECISION SEEDING PLANTS WITH VACUUM DISC SEEDING UNITS (ON THE EXAMPLE OF THE MS-8 ROW-CROP SEEDING MANUFACTURED BY PJSC "MILLEROVOSELMASH").....17
Purusov Y., Tomilov A., Leontiev K., Lomovskih A., Germanovich A.
DETERMINATION OF THE TRACTION FORCE OF THE WHEEL MOVER TAKING INTO ACCOUNT THE SLIDING SPEED OF THE PNEUMATIC TIRE IN THE CONTACT AREA.....30
Shvartz A., Shvartz S., Uvarova A., Tanygin O., Lukin S.
DYNAMICS OF ROTARY TILLAGE WORKING BODIES OF NEEDLE TYPE.....39
Kirov Y., Ivanaysky S., Afonin A., Ivanaysky M.
THE RESULTS OF A COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE ACCUMULATION OF MOISTURE IN A METTER LAYER OF SOIL AT VARIOUS STAGES OF ITS PROCESSING 49
Chernyshov A., Orobinsky V., Gievsky A., Baskakov I., Podorvanov D.
THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODE OF THE GRAVITATIONAL RECEIVING DISTRIBUTOR WITH VIBROVALVE…….…….56
Pilyaev S., Eremin M., Aksenov I., Afonicheva D.
SIMULATION OF AN ASYNCHRONOUS STATE OBSERVER ELECTRIC MOTOR BASED ON THE KALMAN FILTER IN THE SIMINTECH PROGRAM 67
Bondarenko I., Mikhalkov V., Sergeev K., Rodionov Y., Nikitin D., Skomorokhova A.
MODERN SYSTEMS FOR OFFLINE/ONLINE CONTROL OF FUEL CONSUMPTION AND THRESHOLD VALUES OF ENGINE OIL FOR TRACTORS "BELARUS" 76
Zazulya A., Gasparyan S., Makarova O., Hripin V., Borychev S., Makarov V.
THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF COMBINE HARVESTERS IN GRAIN FARMING….83
Dorovskih V., Shulaev G., Milushev R., Zharikov V.,
PRODUTION SCHEDULES OF PREPARATION OF FODDER ADDITIVES FOR HIGHLY PRODUCTIVE ANIMALS IN THE CONDITIONS OF ECONOMY 89
Filippova O.
PRACTICAL USE OF SORPTION PROPERTIES OF NATURAL MINERAL IN LIVESTOCK ..95
Ostrikov V., Zhernovnikov D., Petrashev A., Erokhin G., Nagdaev V.
PROBLEMS AND TASKS OF REDUCING WEAR AND CORROSION OF GRAIN HARVEST ENGINE PARTS DURING THE PERIOD OF LONG INACTIVITY 100
Kuryato N., Dorokhov A., Knyazeva L.
PROTECTIVE EFFICIENCY OF OIL COMPOSITIONS CONTAINING ANTI-CORROSION ADDITIVE M-531.....105
Zhachkin S., Pen`kov N., Krasnova M., Strunkin P.
KINEMATIC MODEL OF OBTAINING DISPERSE-HARDENED COMPOSITE MATERIALS ON METAL MATRIX.....112
Zavrazhnov A., Zavrazhnov A., Lantsev V., Mishin B., Shepelev V., Yakushev A.
COMPARATIVE ANALYSIS OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS (PURPOSE INDICATORS) OF PRECISION SEEDER.....120

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-5-17

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ ВАКУУМНО-ДИСКОВОГО ТИПА (на примере высевающего аппарата сеялки точного высева МС-8 производства ПАО «Миллеровосельмаш»)*

[1]Завражнов Андрей Анатольевич
[1]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Земляной Андрей Александрович
[1]Ланцев Владимир Юрьевич
[1]Мишин Борис Сергеевич
[2]Крецу Николай Исатьевич
[2]Шепелев Валерий Юрьевич
[2]Якушев Алексей Викторович
[1]ФГБНУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
[2]ПАО «Миллеровосельмаш»

Реферат. *В данной статье представлены результаты исследований функциональных характеристик высевающих аппаратов (ВА) вакуумно-дискового типа. Представлена конструкция стенда для проведения исследовательских испытаний ВА. Описана методика работы со стендом и порядок его настройки. В процессе проведения исследовательских испытаний определялись функциональные характеристики ВА, включающие отклонение от заданной нормы высева, неравномерность высева, пропуски и двойники. Значения функциональных показателей определялись путем пересчета частотно-временных характеристик процесса, полученных на каждом отдельном опыте в зависимости от диаметра присасывающих отверстий высевающих дисков ВА, величины разряжения в вакуумной камере ВА и оборотов высевающего диска. При формировании массива частотно-временных характеристик фиксировалось время между пролетами семян в рамке датчиков контроля высева на каждом опыте. В результате проведенных исследовательских испытаний был создан банк данных процесса высева ВА вакуумно-дискового типа (производства ПАО «Миллеровосельмаш») семян подсолнечника (для диаметров присасывающих отверстий высевающего диска 2,0 и 3,0 мм) и кукурузы (для диаметров присасывающих отверстий высевающего диска 4,5 и 6,0 мм) в диапазоне пневматических режимов (разряжение в вакуумной камере ВА от 2,0 до 9,0 кПа) и диапазоне кинематических режимов (обороты высевающего диска ВА от 10 до 100 об/мин). Созданный банк банк данных позволил провести исследование и анализ функциональных характеристик ВА вакуумно-дискового типа. В ходе исследования функциональных характеристик установлено влияние на процесс: степени разрежения в вакуумной камере ВА, увеличение степени разрежения с 5,0 до 9,0 кПа структурирует процесс и снижает степень его стохастичности (неравномерности), который характеризуется коэффициентом вариации, а именно: до 40% при высеве подсолнечника; до 60% при высеве кукурузы; диаметра присасывающих отверстий высевающего диска ВА, также снижает степень стохастичности (неравномерности) процесса, но при этом увеличивает долю двойников. По результатам исследований были сделаны вывод, что наиболее важным параметром, позволяющим повышать скоростные режимы работы ВА является увеличение степени разряжения не менее 9 кПа.*

Ключевые слова: *сеялки точного высева, высевающий аппарат, функциональные характеристики, степень разряжения, диаметр присасывающих отверстий, обороты высевающего дитска.*

*Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения №075-11-2019-041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ПАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКТР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

SEEDING UNITS OF VACUUM-DISC TYPE
(on the example of the sowing device of the precision seeding machine MS-8 manufactured by PJSC "Millerovoselmash")

[1]Zavrazhnov Andrey
[1]Zavrazhnov Anatoly
[1]Zemlyanoy Andrey
[1]Lantsev Vladimir
[1]Mishin Boris
[2]Kretsu Nikolay
[2]Shepelev Valery
[2]Yakushev Alexey

[1]FSBEI HE Michurinsk State Agrarian University
[2]PJSC "Millerovoselmash"

Abstract. *This article presents the results of research on the functional characteristics of vacuum-disk type metering devices (VA). The design of the stand for conducting research tests of VA is presented. The technique of working with the stand and the procedure for setting it up are described. In the process of conducting research tests, the functional characteristics of VA were determined, including deviation from a given seeding rate, uneven seeding, gaps and twins. The values of the functional indicators were determined by recalculating the frequency-time characteristics of the process, obtained in each individual experiment, depending on the diameter of the suction holes of the BA seeding discs, the amount of vacuum in the BA vacuum chamber and the seeding disc revolutions. During the formation of the array of time-frequency characteristics, the time between the flights of seeds was recorded in the frame of the seeding control sensors for each experiment.As a result of the research tests carried out, a data bank was created for the seeding process of the VA vacuum-disk type (produced by PJSC Millerovoselmash) of sunflower seeds (for diameters of the suction holes of the seeding disk 2.0 and 3.0 mm) and corn (for the diameters of the suction holes of the seeding disk 4.5 and 6.0 mm) in the range of pneumatic modes (vacuum in the VA vacuum chamber from 2.0 to 9.0 kPa) and the range of kinematic modes (revolutions of the VA seeding disc from 10 to 100 rpm). The created databank made it possible to study and analyze the functional characteristics of the vacuum-disk type VA.During the study of the functional characteristics, the effect on the process was established: the degree of rarefaction in the vacuum chamber of the VA, an increase in the degree of rarefaction from 5.0 to 9.0 kPa structures the process and reduces the degree of its stochasticity (unevenness), which is characterized by a coefficient of variation, namely: up to 40 % when sowing sunflower; up to 60% when sowing corn; diameter of the suction holes of the seeding disc BA, also reduces the degree of stochasticity (unevenness) of the process, but at the same time increases the proportion of twins. According to the research results, it was concluded that the most important parameter allowing to increase the high-speed operating modes of the VA is an increase in the degree of discharge of at least 9 kPa.*

Keywords: *precision seeders, seeding device, functional characteristics, degree of vacuum, diameter of suction holes, rotational speed of the seeding child.*

Введение. В настоящее время посев пропашных и овощных культур осуществляется, так называемыми, сеялками точного высева (СТВ), «сердцем» которых является пневматический высевающий аппарат (ВА).

Наибольшее распространение получили ВА вакуумно-дискового типа (сеялки с вакуумно-дисковыми ВА занимают более 70% мирового рынка). Изучению таких ВА только в России посвящено более 50 кандидатских и докторских диссертации [1], не считая огромного количества научных публикаций (на каждую диссертацию – не менее 3-5 авторских публикаций).

Данные факты позволяют отнести ВА вакуумно-дискового типа к категории «классических» высевающих аппаратов сеялок точного высева.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (п.7. Машины для посева сельскохозяйственных культур) [2] и разработанных на его основе нормативных документов ГОСТ 31345-17 и СТО АИСТ 5.6-2018 [3, 4], к сеялкам точного высева (СТВ) относятся:

1. СТВ для посева пропашных культур (подсолнечник, кукуруза, сорго, соя, хлопчатник);
2. СТВ для посева сахарной свеклы;
3. СТВ для посева овощных культур (кабачок, баклажан и др.);
4. СТВ для посева бахчевых культур (арбуз, дыня, тыква и др.).

Отечественными нормативами [2, 3, 4] определен ряд функциональных характеристик (показателей назначения) вышеперечисленных СТВ, из которых основными, по мнению авторов являются:

1. Рабочая скорость;
2. Ширина междурядья (расстояние между центрами соседних рядов растений);
3. Норма высева семян (количество семян, посеянное на единицу длины или площади), определяющая шаг посева (расстояние между двумя следующими один за другим семенами в ряду) и распределение семян в ряду (размещение семян по длине ряда);
4. Отклонение фактической нормы высева семян от заданной;
5. Неравномерность высева семян отдельными аппаратами;
6. Пропуски (отсутствие семени там, где оно должно быть). Все шаги посева, превышающие в 1,5 раза теоретический шаг посева, считаются пропусками.
7. Двойники (присутствие двух или более семян там, где должно быть одно). Все шаги посева менее чем 0,5 теоретического шага посева рассматриваются как двойники.

В таблице 1 представлены численные значения основных функциональных характеристик (показателей назначения), заданных отечественными нормативами [2, 3, 4].

Таблица 1 – Нормативные функциональные характеристики (показатели назначения) сеялок точного высева (СТВ)

№, п/п	Наименование характеристик (показателей)	СТВ для пропашных культур	СТВ для сахарной свеклы	СТВ для овощных культур	СТВ для бахчевых культур
1.	Рабочая скорость, км/ч, не более	10,0	6,5	8,0	6,0
2.	Ширина междурядий, см	45; 60; 70; 75; 90	45, 60	по АТТ	180
3.	Норма высева семян, шт/пм	1,4-8	6	по АТТ	2-10
4.	Отклонение фактической нормы высева семян от заданной, %, не более	3,0	3,0	-	-
5.	Неравномерность высева семян отдельными ВА, %, не более	3,0	3,0	5,0	5,0
6.	Коэффициент вариации распределения семян в рядке, %, не более	30	-	-	-

Отечественные нормативы не регламентируют количественные значения таких показателей как пропуски и двойники, хотя многочисленные отечественные и зарубежные литературные источники характеризуют данные показатели как весьма существенными при оценке функциональных возможностей современных СТВ [5, 6, 7].

Ширина междурядий и заданная норма высева определяют потребное количество семян. Так для СТВ в диапазоне междурядий 45 … 180 см и норме высева 1…10 шт/пм потребное количество семян составляет 5555,6…222222,2 шт/га.

Норма высева и рабочая скорость СТВ определяют скорость (частоту) высева (количество семян, посеянное за единицу времени), которая в свою очередь зависит от количества присасывающих отверстий на высевающем диске (ВД) высевающего аппарата (ВА) и частоты его вращения.

По отечественным нормативам рабочие скорости СТВ (для пропашных культур) не превышают 10 км/час (таблица 1), что соответствует скорости/частоте высева не более 15…18 шт/с. Современные мировые тренды развития посевной техники определяют рабочие скорости СТВ для пропашных культур в диапазоне 15 … 18 км/час и более. В настоящее время мировой рекорд принадлежит сеялке Vaderstad Tempo L16, показавшей за 24 часа непрерывной работы (на посеве подсолнечника с нормой высева 4,7 шт/пм) среднюю рабочую скорость 20,8 км/час и соответственно, скорость (частоту) высева более 30 шт/с [8].

Естественно, что такие рабочие скорости предъявляют повышенные требования к конструкционным и режимным характеристикам современных СТВ.

По утверждению известного отечественного авторитета в области точного высева Несмияна А.Ю. на качество работы СТВ основное влияние оказывают следующие конструкционные особенности/параметры и режимные характеристики работы ВА [7]:

- *разрежение в вакуумной камере ВА;*
- *частота вращения ВД;*
- *параметры дозирующих элементов ВД (в основном диаметр отверстия);*
- *конструкционное исполнение сбрасывателя (отражателя) «лишних» семян (двойников);*
- *конструкционные особенности, точность изготовления и сборки ВА.*

Комплексное взаимовлияние вышеперечисленных факторов и качество работы СТВ оценивается такими показателями как величиной отклонения фактических показателей от заданных и коэффициентами вариации (см. табл. 1). Численные значения данных показателей определяют, так называемый «стохастизм» функциональных характеристик СТВ (большие значения отклонений и вариации могут вывести оцениваемую/испытываемую СТВ из категории Сеялки Точного Высева).

Исследованиями Несмияна А.Ю. и других ученых [1, 5, 6, 7] определены оптимальные конструкционные параметры и режимы работы «классических» ВА для посева наиболее востребованных пропашных культур (подсолнечника и кукурузы), а именно:

1. скорость вращения ВД – 35…45 об/мин;
2. окружная скорость всасывающих отверстий ВД – 0,3…0,35 м/с;
3. диаметр всасывающих отверстий – 3,0 мм (для подсолнечника) и 4,5/5,0 мм (для кукурузы);
4. величина разрежения в вакуумной камере ВА – 4,0 кПа (для подсолнечника) и 4,5…5,0 кПа (для кукурузы);
5. количество всасывающих отверстий – 20 шт. на делительном диаметре 150 мм.

Данные конструкционные параметры и режимы работы реализованы в ВА пропашных СТВ типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш»).

Для большинства СТВ других фирм-производителей (отечественных и зарубежных) конструкционные и режимные характеристики ВА лежат в аналогичных диапазонах. Такие характеристики обеспечивают качественную работу СТВ на рабочих скоростях в пределах 7…9 км/час (при скорости/частоте высева 11,6…15 шт/с).

Тенденции развития посевной техники в части повышения рабочих скоростей до 15 … 18 км/час и более приводят к необходимости изменения конструкционных параметров и режимов работы ВА современных и вновь создаваемых СТВ. Поэтому, несмотря на значительный объем ранее проведенных исследований других ученых, авторы провели цикл исследовательских испытаний «классических» вакуумно-дисковых ВА на режимах, обеспечивающих работу СТВ на повышенных рабочих скоростях.

Целью проведенных исследований являлось определение функциональных характеристик высевающих аппаратов (ВА) вакуумно-дискового типа на режимах, обеспечивающих работу СТВ на повышенных рабочих скоростях, с последующим анализом и разработкой конкурентоспособных технических решений.

Условия, материалы и методы

Исследования функциональных характеристик ВА вакуумно-дискового типа проводились по следующей схеме и алгоритмам:

1. Объект испытаний:

- Высевающая секция с двумя ВА типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш»).
- Второй ВА использовался для дублирования результатов проведения опытов.

2. Матрица проведения экспериментов (параметры и режимы проведения опытов) представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица проведения экспериментов

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr>
<tr><td>Высеваемая культура **</td><td rowspan="2">Конструкционные параметры **
(диаметр всасывающих отверстий ВД)</td><td>Пневматический режим **
(разряжение в вакуумной камере ВА)</td><td>Кинематический режим ***
(обороты ВД)</td></tr>
<tr><td>см. табл. 3</td><td>см. рис. 1</td><td>см. табл. 4 и рис. 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.1. Подсолнечник</td><td>2.1. диаметр 2,0 мм</td><td rowspan="4">3.1. разряжение 2 кПа
3.2. разряжение 3 кПа
3.3. разряжение 4 кПа
3.4. разряжение 5 кПа
3.5. разряжение 6 кПа
3.6. разряжение 7 кПа
3.7. разряжение 8 кПа
3.8. разряжение 9 кПа</td><td rowspan="4">4.1. 10…15 об/мин
4.2. 16…21 об/мин
4.3. 22…27 об/мин
4.4. 28…33 об/мин
4.5. 34…39 об/мин
4.6. 40…45 об/мин
4.7. 46…51 об/мин
4.8. 52…57 об/мин
4.9. 58…63 об/мин
4.10. 64…69 об/мин
4.11. 70…75 об/мин
4.12. 76…81 об/мин
4.13. 82…87 об/мин
4.14. 88…93 об/мин
4.15. 94…99 об/мин</td></tr>
<tr><td>2.2. диаметр 3,0 мм</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.2. Кукуруза</td><td>2.3. диаметр 4,5 мм</td></tr>
<tr><td>2.4. диаметр 6,0 мм</td></tr>
</table>

****** – дискретный режим с ручной переустановкой параметров опыта

******* – непрерывный режим с автоматической переустановкой параметров опыта (длительность каждого опыта на каждом кинематическом параметре – не менее 20 с, по условию [9])

Объем экспериментов – 240 опытов для каждой культуры

3. Замеряемые и исследуемые показатели (функциональные характеристики) в соответствии [2, 3, 4]:

- Отклонение от заданной нормы высева;
- Неравномерность высева: пропуски; двойники.

4. Обработка данных измерений и статистический анализ: пакеты прикладных программ Matlab с использованием методик [10] и стандартный пакет Excel.

Аппроксимация графиков проводилась следующими регрессионными зависимостями:

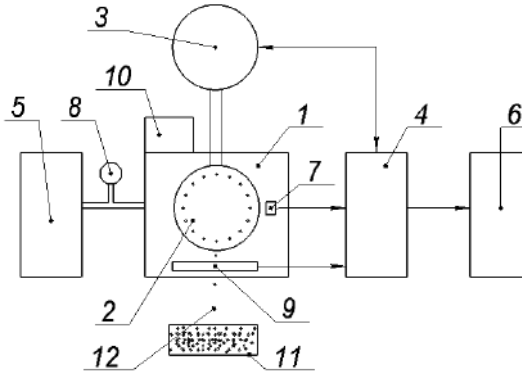
линейной типа $Y = aX + b$ и степенной типа $Y = aX^{\alpha} + b$.

Критерием выбора типа регрессионной зависимости (тренда) являлось условие $R^2 \geq 0.7$ (где R^2 – коэффициент детерминации).

5. Условия проведения опытов

Для проведения исследовательских испытаний использовалась лабораторно-стендовая установка (рис. 1), позволяющая задавать режимы испытаний в соответствии таблица 2:

- Для задания пневматических режимов использовался промышленный пылесос Кёрхер (рис. 1).
- Для задания кинематических режимов использовался бесколлекторный электродвигатель XF15R фирмы Mxus (Китай), с напряжением – 36/48 В и номинальной мощностью 0,35 кВт с блоком управления (рис. 2).
- Для измерения частотно-временных характеристик процесса высева использовались штатные датчики емкостного типа системы контроля высева (СКВ) сеялки МС-8 «Дарина – У» (рис. 2).
- Визуализация процесса высева проводилась скоростной видеосъёмкой с использованием прозрачной крышкой семенной камеры ВА.
- ВА испытывались без сбрасывателей (отражателей) «лишних» семян (двойников).



а) принципиальная схема

б) общий вид

1 – высевающий аппарат, 2 – высевающий диск, 3 – электродвигатель, соединенный с высевающим диском, 4 – блок управления, 5 – источник разрежения, 6 – компьютер, 7 – датчик оборотов высевающего диска, 8 – вакуумметр, 9 – датчик высева, 10 – бункер с семенами, 11 – емкость для сбора семян, 12 – высеваемый материал

Рисунок 1 – Лабораторно-стендовая установка для проведения исследовательских испытаний высевающих аппаратов СТВ

Результаты и обсуждение

Реализация всего объёма исследовательских испытаний позволила создать банк данных процесса высева ВА типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш), представляющий массив частотно-временных характеристик на всех заданных режимах работы (таблицы 2, 3 и 4).

Таблица 3 – Размерные характеристики посевного материала для проведения испытаний

Подсолнечник			**Кукуруза**		
Размерные характеристики **, мм**					
Длина	**Ширина**	**Толщина**	**Длина**	**Ширина**	**Толщина**
Математическое ожидание (средний размер), мм					
10,3/12,2	4,7/6,3	3,1/3,8	10,6/10,6	8,2/8,0	4,9/4,8
Среднеквадратичное отклонение, мм					
0,5/0,9	0,7/0,6	0,4/0,5	0,8/0,7	0,8/0,6	0,9/0,7
Коэффициент вариации, %					
5,4/7,6	15,5/10,4	14,1/14,1	8,3/6,6	9,6/8,1	18,8/14,9

******** - в числителе указаны размерные характеристики, полученные на основании собственных исследований, в знаменателе (для сравнения) – размерные характеристики, полученные другими авторами [5]

Таблица 4 – Кинематические режимы работы ВА (для ВД-20 с 20-ю всасывающими отверстиями) в зависимости от нормы высева N (шт/пм) и рабочей скорости СТВ

Рабочая скорость СТВ, км/час	**Обороты ВД, об/мин**	**Скорость (частота) высева, шт/с**	**Обороты ВД, об/мин**	**Скорость (частота) высева, шт/с**	**Обороты ВД, об/мин**	**Скорость (частота) высева, шт/с**	**Обороты ВД, об/мин**	**Скорость (частота) высева, шт/с**	**Обороты ВД, об/мин**	**Скорость (частота) высева, шт/с**
	N = 1		**N = 2**		**N = 3**		**N = 4**		**N = 5**	
6	5,0	1,7	10,0	3,3	15,0	5,0	20,0	6,7	25,0	8,3
9	7,5	2,5	15,0	5,0	22,5	7,5	30,0	10,0	37,5	12,5
12	10,0	3,3	20,0	6,7	30,0	10,0	40,0	13,3	50,0	16,7
15	12,5	4,2	25,0	8,3	37,5	12,5	50,0	16,7	62,5	20,8
18	15,0	5,0	30,0	10,0	45,0	15,0	60,0	20,0	75,0	25,0
21	17,5	5,8	35,0	11,7	52,5	17,5	70,0	23,3	87,5	29,2

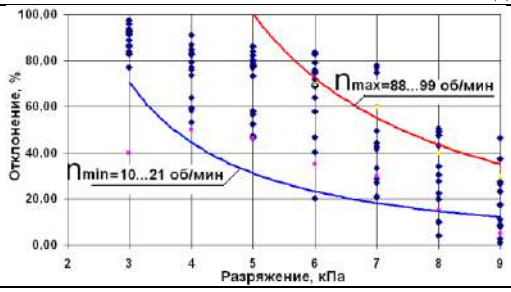
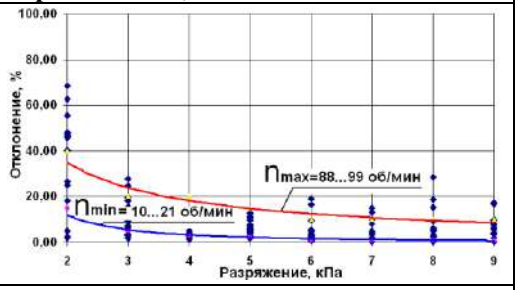
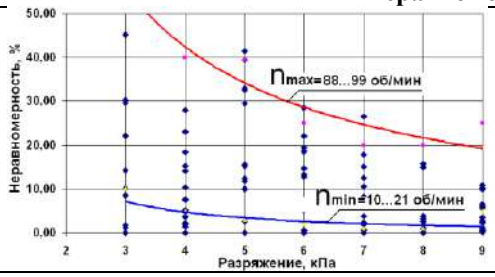
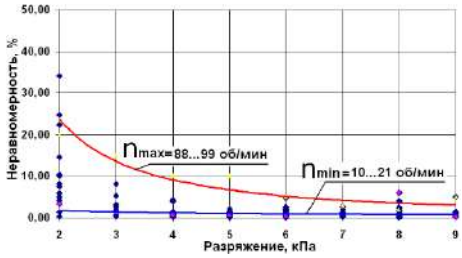
	N = 6		N = 7		N = 8		N = 9		N = 10	
6	30,0	10,0	35,0	11,7	40,0	13,3	45,0	15,0	50,0	16,7
9	45,0	15,0	52,5	17,5	60,0	20,0	67,5	22,5	75,0	25,0
12	60,0	20,0	70,0	23,3	80,0	26,7	90,0	30,0	100,0	33,3
15	75,0	25,0	87,5	29,2	100,0	33,3	112,5	37,5	125,0	41,7
18	90,0	30,0	105,0	35,0	120,0	40,0	135,0	45,0	150,0	50,0
21	105,0	35,0	122,5	40,8	140,0	46,7	157,5	52,5	175,0	58,3

В процессе проведения эксперимента датчиками контроля высева фиксировалось время между пролетами семян в измерительной рамке датчиков, с последующим пересчетом значений функциональных характеристик работы (отклонение от нормы высева, неравномерность высева, процентное отношение пропусков и двойников) испытываемого ВА. В результате обработки массивов экспериментальных данных определены численные значения функциональных показателей работы ВА в зависимости от режимов работы, а именно: отклонение от нормы высева в %; неравномерность высева в %; наличие пропусков и двойников в %.

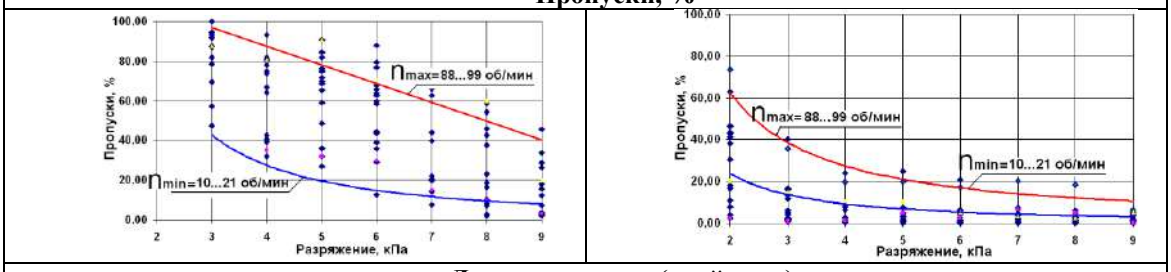
В таблицах 5 и 7 представлены графики сводных значений функциональных характеристик работы ВА на всем диапазоне изменения пневматических и кинематических (скоростных) режимов для высева семян подсолнечника (таблица 5) и кукурузы (таблица 7). Графики функциональных характеристик построены в едином масштабе, что позволило качественно провести их сравнение и оценку. Скоростные режимы (обороты ВД) на представленных графиках обозначены диапазонами, которые ограничены регрессионными зависимостями по нижнему (n_{min} = 10…21 об/мин) и верхнему (n_{max} = 88…99 об/мин) пределам.

В таблицах 6 и 8 представлены графики определяющие соответствие выполнения нормативным показателям по отклонению фактической от заданной нормы высева семян подсолнечника (таблица 6) и кукурузы (таблица 8) на выборочных пневматических (разрежение 3, 6, 9 кПа) и всем диапазоне оборотов ВД. Соответствие нормативным показателям (не более 3 % [2, 3, 4]) определялось верхней и нижней границами (пределами) разброса экспериментальных данных и выделена желтым цветом графиках. Численные значения верхнего и нижнего пределов определялась по условию $\pm 0{,}5\sigma$ (где σ среднеквадратичное отклонение), что соответствует 2,6…3 % отклонения от заданной нормы высева.

Таблица 5 – Функциональные характеристики работы ВА при высеве семян подсолнечника

Диаметр 2,0 мм	Диаметр 3,0 мм
Отклонение от заданной нормы высева, %	
	
Неравномерность высева, %	
	

Пропуски, %



«Лишние» семена (двойники)

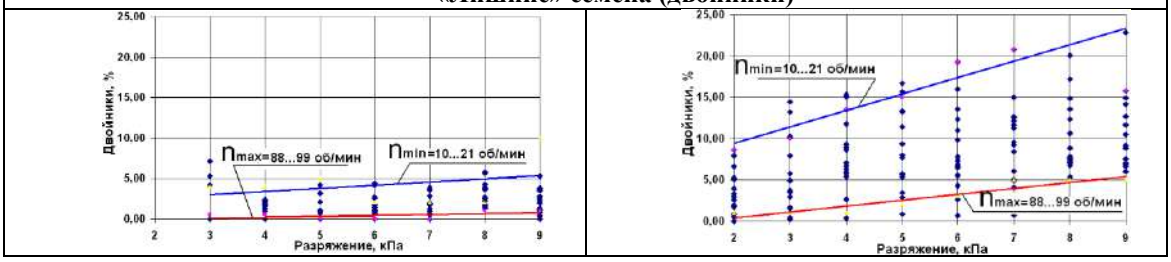
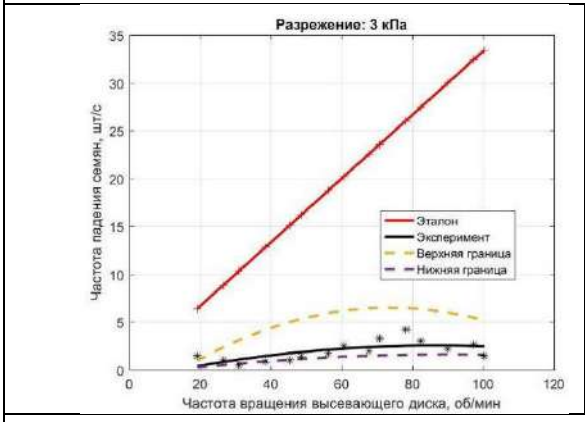
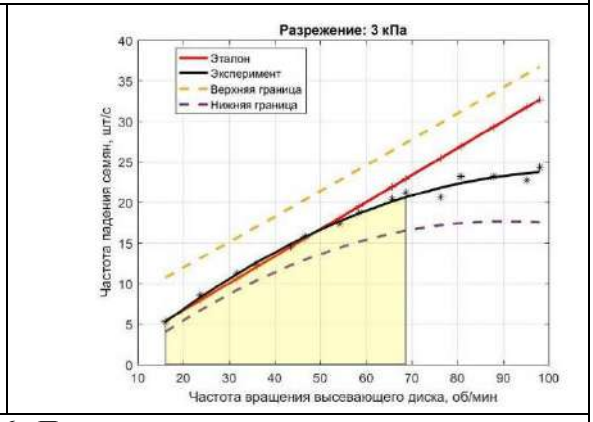
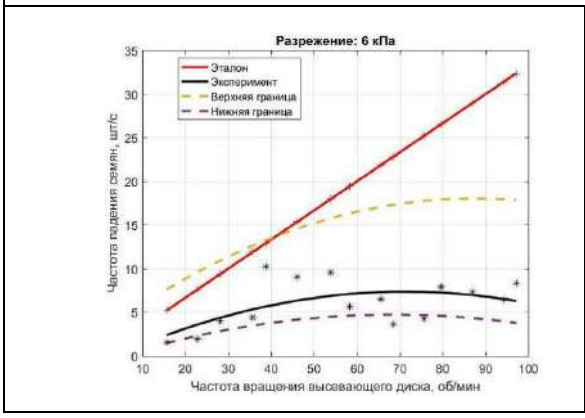
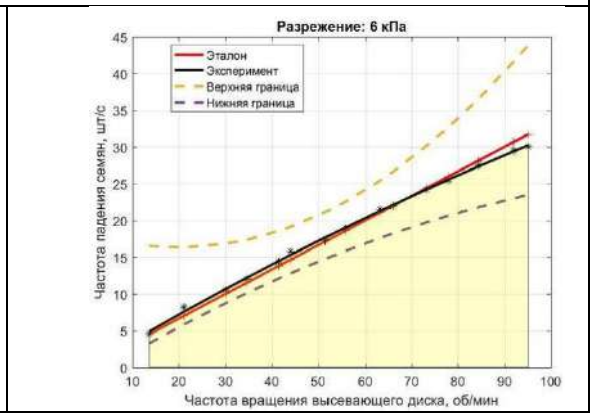


Таблица 6 – Показатели работы ВА по отклонению от заданной нормы при высеве семян подсолнечника

Диаметр 2,0 мм	Диаметр 3,0 мм
Отклонение от заданной нормы высева, %	
3 кПа	
	
6 кПа	
	

9 кПа

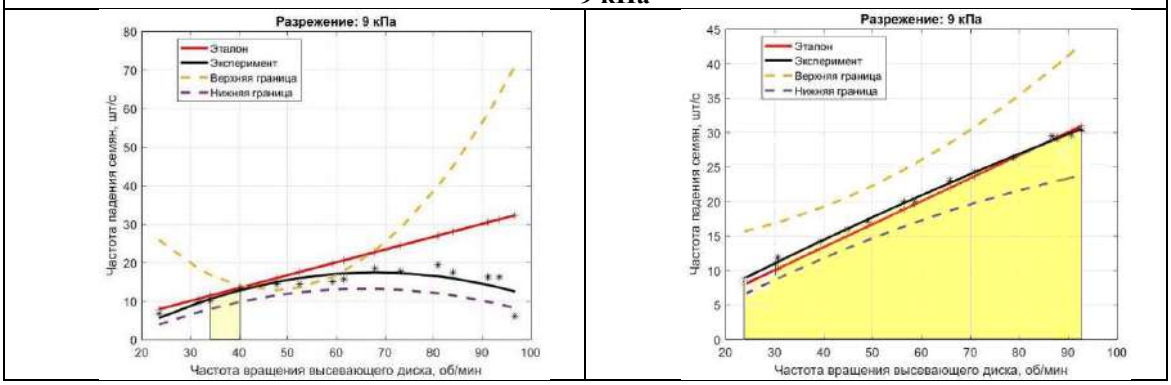
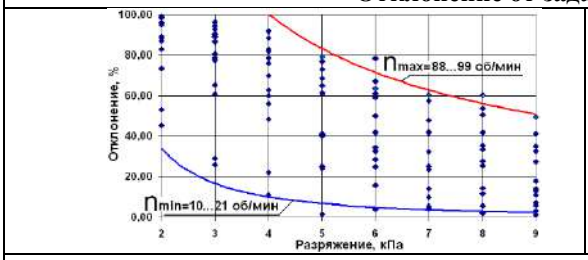
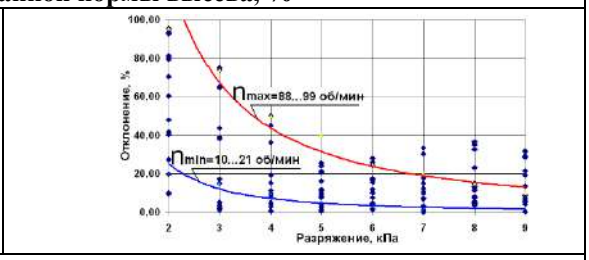
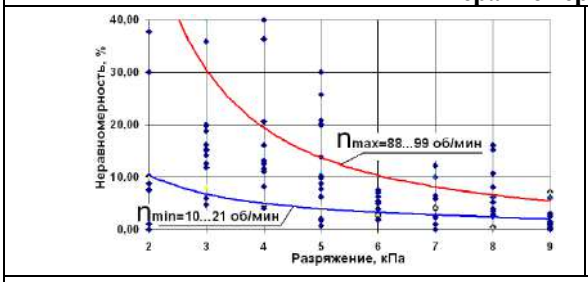
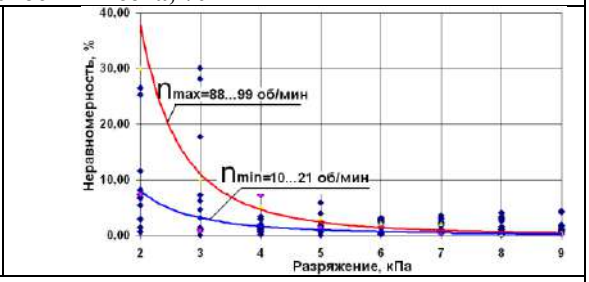
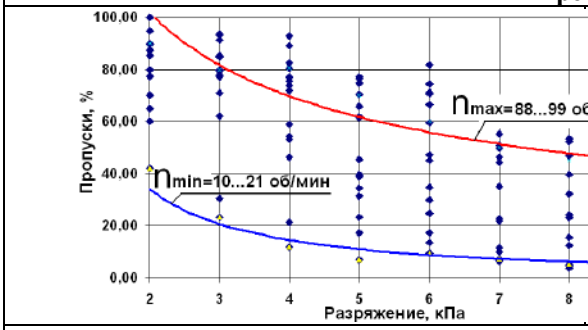
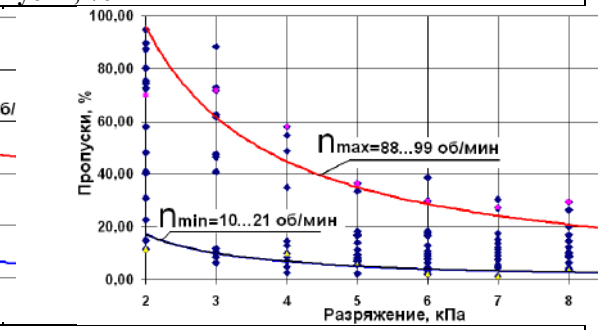


Таблица 7 – Функциональные характеристики работы ВА при высеве семян кукурузы

Диаметр 4,5 мм	Диаметр 6,0 мм
Отклонение от заданной нормы высева, %	
	
Неравномерность высева, %	
	
Пропуски, %	
	

«Лишние» семена (двойники), %

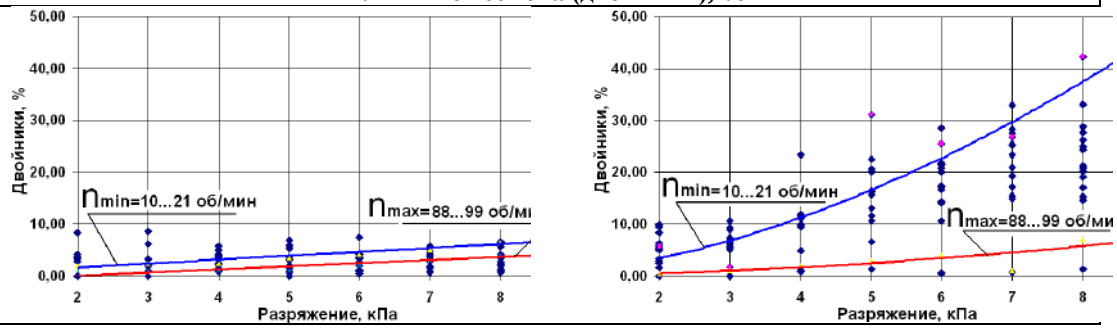
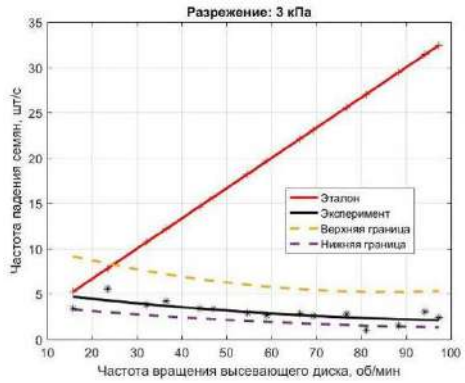
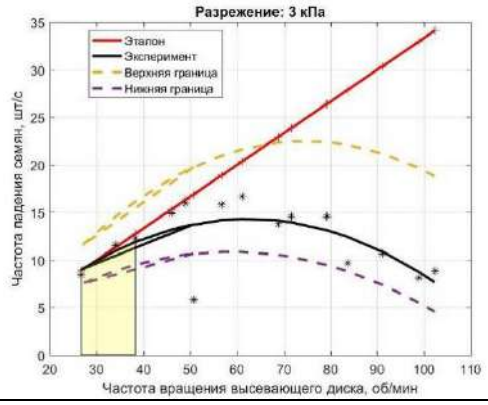
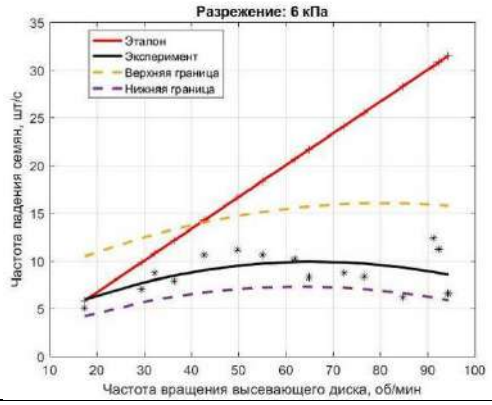
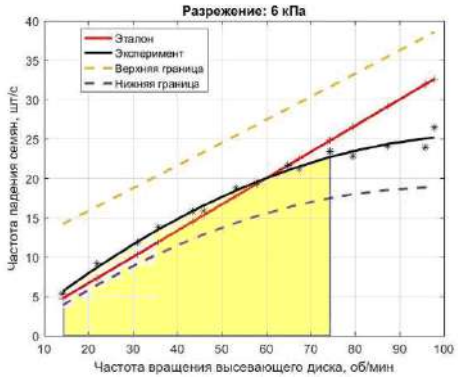
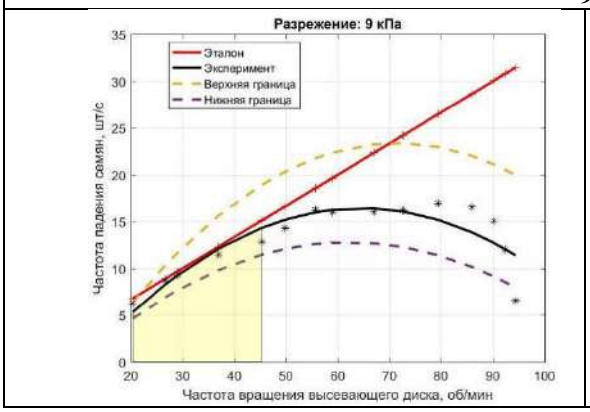
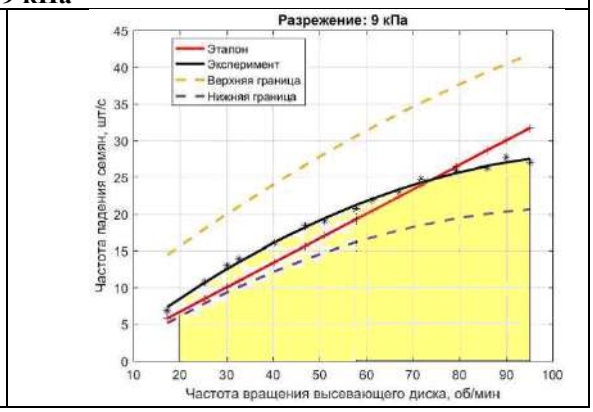


Таблица 8 – Показатели работы ВА по отклонению от заданной нормы при высеве семян кукурузы

Диаметр 4,5 мм	Диаметр 6,0 мм
Отклонение от заданной нормы высева, %	
3 кПа	
	
6 кПа	
	

9 кПа





Выводы по результатам исследовательских испытаний

1. По результатам исследовательских испытаний вакуумно-дисковых высевающих аппаратов (ВА) типа МС (сеялок точного высева производства ПАО «Миллеровосельмаш») можно сделать следующие выводы.

Норма высева семян для СТВ с шириной междурядий 45 … 180 см составляет 1…10 шт/пм и определяет расчетное количество семян 5555,6…222222,2 шт/га.

2. Размерные характеристики посевного материала составляют:

Для подсолнечника:

- длина – 10,3 … 12,2 мм
- ширина – 4,7 … 6,3 мм;
- толщина – 3,1 … 3,8 мм.

Для кукурузы:

- длина – 10,6 мм
- ширина – 8,0 … 8,2 мм;
- толщина – 4,8 … 4,9 мм.

3. Диаметр и количество присасывающих ВД определяются размерами семян и условиями отсутствия смыкания присосанных семян между собой.

4. Для высева семян определено 20 отверстий на делительном диаметре 150 мм с размерами 2,0 и 3,0 мм для подсолнечника, 4,5 и 6,0 мм для кукурузы.

5. Для нормы высева подсолнечника и кукурузы 1 … 10 шт/пм и рабочих скоростей сеялки 6 … 21 км/час обороты ВД составляют 5,0 … 175,0 об/мин, что соответствует окружной скорости присасывающих отверстий 0,04 … 1,37 м/с.

6. Исходя из условия оптимальной работы «классических» вакуумно-дисковых ВА определяем обороты ВД не более 100 об/мин.

7. По результатам испытаний, определено следующее:

- наилучшие показатели технологического процесса высева (по пропускам, отклонению от заданной нормы и неравномерности высева) обеспечиваются при увеличении степени разрежения в вакуумной камере ВА и увеличении диаметра всасывающего отверстия ВД;
- наибольшее влияние на процесс оказывает степень разрежения в вакуумной камере ВА;
- увеличение степени разрежения с 5,0 до 9,0 кПа структурирует процесс и снижает степень его стохастичности (неравномерности), который характеризуется коэффициентом вариации, а именно:
  - до 40% при высеве подсолнечника;
  - до 60% при высеве кукурузы.

8. Увеличение диаметра присасывающих отверстий ВД также снижает степень стохастичности (неравномерности) процесса, но при этом увеличивает долю двойников.

9. Данный факт определяет, что наиболее важным параметром, позволяющим повышать скоростные режимы работы ВА является увеличение степени разряжения (по крайней мере до 9 кПа).

Список литературы

1. Библиотека диссертаций и авторефератов России [Электронный ресурс]: URL: http://www.dslib.net.

2. Постановление Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (п.7. Машины для посева сельскохозяйственных культур).

3. ГОСТ 31345–2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний.

4. СТО АИСТ 5.6–2 018. Испытания сельскохозяйственной техники.

5. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования.

6. Оптимизация вакуумных высевающих аппаратов пропашных сеялок: монография / А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, В.В. Должиков, А.В. Яковец, Д.Е. Шаповалов. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 176 с.

7. Проектирование и расчет пропашных сеялок: учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян, Ф.В. Авраменко. - Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 114 с.

8. Несмиян А.Ю. Машинно-технологическое обоснование процессов обработки почвы и посева пропашных культур в условиях дефицита влаги: дис. … докт. техн. наук: 05.20.01 / Несмиян Андрей Юрьевич. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДГАУ, 2016. – 424 с.

9. www.vaderstad.com.

10. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний/ Р. Мэнли. Перевод с английского – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.

11. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink / учебное пособие для студентов высших учебных заведений //Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 425 с.

References

1. Library of dissertations and abstracts of Russia [Electronic resource]: URL: http://www.dslib.net.

2. Decree of the Government of the Russian Federation of August 1, 2016 No. 740 "On the determination of functional characteristics (consumer properties) and the efficiency of agricultural machinery and equipment" (clause 7. Machines for sowing agricultural crops).

3. GOST 31345-2017. Agricultural machinery. Seeders are tractor. Test methods.

4. STO AIST 5.6–2018. Tests of agricultural machinery.

5. Sowing and planting machines. Indicators of appointment and reliability. General requirements.

6. Optimization of vacuum seeding devices for row-crop seeders: monograph / A.Yu. Nesmiyan, V.I. Khizhnyak, V.V. Dolzhikov, A.V. Yakovets, D.E. Shapovalov. - Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2013.-- 176 p.

7. Design and calculation of row-crop seeders: textbook on course and diploma design / V.I. Khizhnyak, A. Yu. Nesmiyan, F.V. Avramenko. - Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute FGBOU VPO DGAU, 2015.- 114 p.

8. Nesmiyan A.Yu. Machine-technological substantiation of soil cultivation and sowing of row crops in conditions of moisture deficit: dis. ... doct. tech. Sciences: 05.20.01 / Nesmiyan Andrey Yurevich. - Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI HE DGAU, 2016.- 424 p.

9. www.vaderstad.com.

10. Manly R. Analysis and processing of vibration records / R. Manly. Translated from English - M .: Mechanical Engineering, 1972. - 368 p.

11. Solonina AI Digital signal processing. Simulation in Simulink / tutorial for students of higher educational institutions // St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2012. - 425 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, начальник Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: noc-inteh@yandex.ru.

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, прфессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Земляной Андрей Александрович – ведущий специалист Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru.

Ланцев Владимир Юрьевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и основ конструирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru.

Мишин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподавать Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск

Крецу Николай Исатьевич - главный инженер ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ". Россия, г. Миллерово, e-mail: ing@msm161.ru.

Шепелев Валерий Юрьевич - Временно исполняющий обязанности начальника Технолого-конструкторского отдела ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail:to@msm161.ru

Якушев Алексей Викторович - директор по развитию ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Andrey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

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

Zemlyanoy Andrey - leading specialist of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru.

Lantsev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Fundamentals of Design of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Mishin Boris - candidate of technical sciences, senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Kretsu Nikolay - chief engineer of PJSC "MILLEROVOSELMASH". Russia, Millerovo, e-mail: ing@msm161.ru

Shepelev Valery - Acting Head of the Technological and Design Department of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: to@msm161.ru

Yakushev Alexey - Development Director of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Поступила в редакцию (Received): 03.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.12.2021

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-17-29

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА С ВЫСЕВАЮЩИМИ АППАРАТАМИ ВАКУУМНО-ДИСКОВОГО ТИПА (на примере пропашной сеялки МС-8 производства ПАО «Миллеровосельмаш»)*

[1]Завражнов Андрей Анатольевич
[1]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Земляной Андрей Александрович
[1]Ланцев Владимир Юрьевич
[1]Мишин Борис Сергеевич
[2]Крецу Николай Исатьевич
[2]Шепелев Валерий Юрьевич
[2]Якушев Алексей Викторович
[1]ФГБНУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
[2]ПАО «Миллеровосельмаш»

Реферат. *Иследовали пневматические и нагрузочные характеристики сеялок точного высева (СТВ) с высевающими аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы. В работе представлена методика оценки и проведения исследований пневматических характеристик СТВ. Определяли нагрузочные характеристики ВА, величину разряжения в вакуумной камере ВА и измеряли крутящий момент на валу ВД в зависимости от величины разрежения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД. По результатам проведенных исследований были получены следующие результаты: конструкция вентиляторной установки пропашной сеялки типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш» создает разряжение в вакуумных камерах ВА не более 5…6 кПа, при этом наблюдается снижение степени разряжения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1…0,2 кПа на каждый пневмопатрубок; анализ напорной и напорно-расходной характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разряжения. Так при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм степень разряжения снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разряжения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной камеры. При номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разряжения объем откачиваемого воздуха увеличивается с 42 до 64 м3/час; увеличение разряжения в вакуумной камере до 9 кПа, необходимые для качественной работы сеялки МС, влечет к возрастанию момента сопротивления на оси ВД. Следует отметить, что «эффект» увеличения крутящего момента на валу высевающего диска ВА имеет значительное влияние при использовании на ВА электроприводных систем.*

Ключевые слова: *сеялка точного высева, высевающий аппарат, технические характеристики, разряжение в вакуумной камере, крутящий момент на валу высевающего диска.*

*Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения №075-11-2019-041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ПАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКТР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

RESEARCH OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF PRECISION SEEDING PLANTS WITH VACUUM DISC SEEDING UNITS
(on the example of the MS-8 row-crop seeder manufactured by PJSC Millerovoselmash)

[1]Zavrazhnov Andrey
[1]Zavrazhnov Anatoly
[1]Zemlyanoy Andrey
[1]Lantsev Vladimir
[1]Mishin Boris
[2]Kretsu Nikolay
[2]Shepelev Valery

[2]***Yakushev Alexey***

[1]*FSBEI HE Michurinsk State Agrarian University*
[2]*PJSC "Millerovoselmash"*

Abstract. *Pneumatic and load characteristics of precision seeders (CTB) with vacuum-disk-type seeders (VA) at various operating modes were studied. The methodology for assessing and conducting research on the pneumatic characteristics of PTS is presented in the work. The load characteristics of the VA, the amount of vacuum in the vacuum chamber of the VA and the measured torque on the shaft of the VD depending on the magnitude of the vacuum in the vacuum chamber of the VA and the diameter of the suction holes of the VD were determined. According to the results of the research, the following results were obtained: the design of the fan installation of the MS type row-crop seeder (manufactured by PJSC Millerovoselmash creates a vacuum in the VA vacuum chambers of no more than 5 ... 6 kPa, while a decrease in the degree of vacuum at the outlet of the receiver pipe with of the fan installation by 0.1 ... 0.2 kPa for each pneumatic nozzle; analysis of the pressure and pressure-flow characteristics of the VA type MS shows that with an increase in the diameters of the suction holes of the HP, the degree of vacuum decreases, so at nominal operating modes of the blower (3000 rpm) with an increase in diameters from 2.0 to 6.0 mm, the degree of vacuum decreases from 9.0 to 1.1 kPa. At the same time, to maintain the required vacuum, the volume of sucked (pumped out) air from the vacuum chamber increases, so at nominal operating modes of the blower (3000 rpm) with an increase in diameters from 2.0 to 6.0 mm to maintain a constant vacuum, the volume of pumped out into air volume increases from 42 to 64 m3 / h; an increase in the vacuum in the vacuum chamber up to 9 kPa, necessary for the high-quality operation of the MS seeder, leads to an increase in the moment of resistance on the HP axis. It should be noted that the "effect" of increasing the torque on the BA sowing disc shaft has a significant impact when using electric drive systems on the VA.*

Keywords: *precision seeder, sowing device, technical characteristics, vacuum in the vacuum chamber, torque on the seeding disc shaft.*

Введение.

Известно, что технические характеристики сеялок точного высева (пневматические и нагрузочные) определяют его функциональные возможности (показатели назначения).

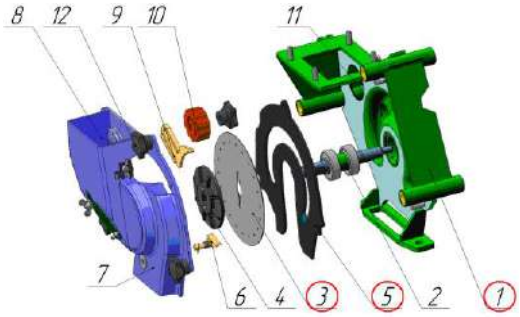
Исследованиями различных ученых [1] и собственными исследованиями определено, что наиболее значимой технической характеристикой для пневматических сеялок точного высева (СТВ) является степень разряжения в вакуумных камерах высевающих аппаратов (ВА).

Величина разрежения в вакуумных камерах ВА в конечном итоге определяет точность высева СТВ, которая регламентируется: отклонением от заданной нормы высева (не более 3%); неравномерностью высева отдельными ВА (не более 3%); неустойчивостью общего высева СТВ (не более 3…5%) [2, 3], пропусками и двойниками [1].

Реализация таких жестких требований определяет особое отношение к типу, конструкционному исполнению и качеству изготовления ВА сеялок точного высева.

На рисунке 1 представлена типичная конструкция «классического» ВА вакуумно-дискового типа (на примере ВА сеялки типа МС производства ПАО «Миллеровосельмаш»). Опыт показывает, что такие ВА имеют значительные утечки разряжения из вакуумной камеры 11 корпуса 1 (рисунок 1), что существенно снижает точность высева.

Мировая практика предлагает множество вариантов «борьбы» за снижение утечек разряжения, которые в основном нацелены на уменьшение зазоров и увеличение контактной плотности прилегания сопрягаемых элементов ВА. На практике это выражается в совершенствовании и модернизации таких элементов ВА, как корпус 1; высевающий диск (ВД) 4; прокладка 5 (рисунок 1).



1 - корпус; 2 - вал; 3 - диск высевающий (ВД); 4 - ворошитель семян: 5 – прокладка; 6 – сбросник семян; 7 - крышка; 8 - семенная камера; 9 - сбрасыватель «лишних» семян; 10 - механизм регулировки сбрасывателя «лишних» семян; 11 - вакуумная камера; 12- крепежные гайки.

Рисунок 1 – Конструкционные «подробности» вакуумно-дискового ВА типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш»).

Так, в настоящее время, корпуса ВА у «продвинутых» фирм-изготовителей выполнены из недеформируемого алюминиевого сплава, обеспечивающие плотное прижатие высевающего диска на всей площади контакта.

Фирма John Deere предлагает использовать в своих ВА высевающие диски (ВД) не допускающих их деформацию при вращении (рисунок 2а) [4], а фирма Sakalar, наоборот, предлагает к использованию эластичные высевающие диски, обеспечивающие постоянное прижатие к корпусу ВА при наличии неровностей в контактной зоне (рисунок 2б) [5].

а) недеформируемые высевающие диски John Deere б) эластичные высевающие диски Sakalar

Рисунок 2 – Варианты «борьбы» с утечками разряжения из ВА

Побочным негативным «эффектом» реализации таких технических решений является увеличение крутящего момента на валу высевающего диска ВА и снижение ресурса работоспособности пары трения «высевающий диск – прокладка» за счет интенсивного абразивного износа, который опять же приводит к повышенным утечкам вакуума из вакуумной камеры ВА.

Уменьшение влияния таких негативных «эффектов» достигается путем использования прокладок, изготовленных из материалов с низким коэффициентом трения или путем подмешивания в семенной материал графитового порошка или талька [6, 7].

Следует отметить, что «эффект» увеличения крутящего момента на валу высевающего диска ВА не имеет значительного влияния на работоспособность СТВ с механическим приводом от опорно-приводных колес.

Однако при использовании на ВА электроприводных систем (что является новомодным трендом развития современных СТВ) данный «эффект» невозможно не учитывать.

Также изготовители ведут «борьбу» за равномерное и одинаковое распределение разрежения между отдельными ВА по всей ширине захвата СТВ. Здесь мы наблюдаем использование нескольких вентиляторов (обеспечивающих разряжение в вакуумных камерах ВА) при большой ширине захвата или использование так называемых труб-ресиверов для уменьшения эффектов пневмосопротивления.

Из вышеизложенного следует, что рассмотрению и изучению пневматических и нагрузочных режимов при исследовании технических характеристик современных СТВ требуется уделять достаточно подробное внимание.

В то же время, анализ состояния вопроса показал, что при достаточно большом объеме ранее проведенных исследований, практически отсутствуют научные и практические данные по пневматическим и нагрузочным характеристикам СТВ с классическими ВА вакуумно-дискового типа.

Доказательством данного утверждения является тот факт, что все известные лабораторные стенды для обкатки и исследований ВА сеялок точного высева (например: отечественный стенд ИУ-91 КубНИИТиМ или зарубежные стенды Maestro фирмы HORSCH; Kinze T4000 фирмы Kinze; Meter Max фирмы Precision Planting и др. [8, 9, 10, 11]) в основном предназначены для исследования функциональных характеристик (определяющих высевающую способность ВА) и не определяют пневматические и нагрузочные характеристики отдельных ВА и СТВ в целом.

Отсутствие достоверных данных по пневматическим и нагрузочным характеристикам СТВ с высевающими аппаратами вакуумно-дискового типа позволило сформулировать цель проведения исследований.

Целью проведенных исследований являлось определение технических (пневматических и нагрузочных) характеристик сеялок точного высева (СТВ) с высевающими аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы, с последующим анализом и разработкой конкурентоспособных технических решений.

Условия, материалы и методы

Исследования технических характеристик сеялок точного высева (СТВ) с высевающими аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа проводились по следующей схеме и алгоритмам:

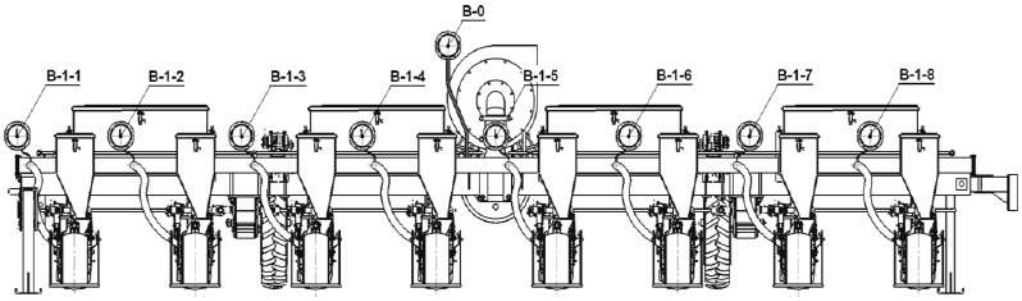
Объекты испытаний:

- Сеялка пропашная МС-8 (ПАО «Миллеровосельмаш»)
- Высевающая секция типа МС (ПАО «Миллеровосельмаш»)

Матрица проведения экспериментов (параметры и режимы проведения опытов) представлена в таблице 1.

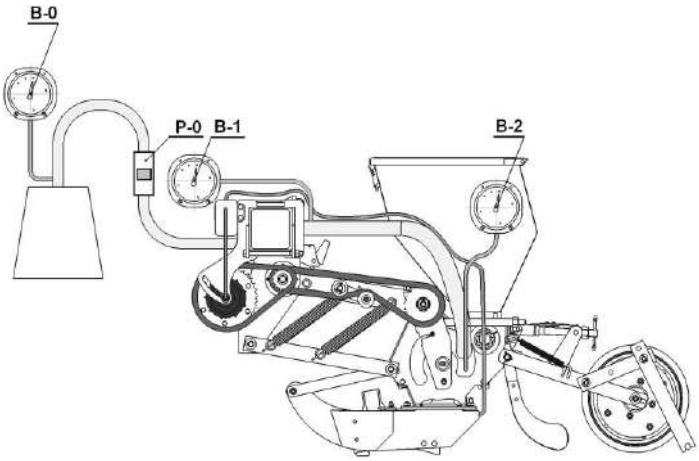
Таблица 1 – Матрица проведения экспериментов

Наименование характеристики Вид оценки	Объект испытаний	Измеряемые параметры	Условия проведения испытаний. Схема измерения
1. Оценка и исследование пневматических характеристик	Сеялка пропашная МС-8	1. Разрежение (кПа) в зависимости от оборотов ВОМ и расположения ВА	• Места измерения разряжения указаны на рисунках 3 и 4
	Высевающая секция МС	2. Разрежение (кПа) и расход воздуха ($м^3$/час) в зависимости от диаметра присасывающих отверстий ВД	• Места измерения разряжения указаны на рисунках 5 и 6 • Измерение крутящего момнта в соответствие рисунке 7 • Диаметр присасывающих отверстий ВД: 0; 2,0; 3,0; 4,5; 6,0 (мм) • Разряжение в вакуумной камере ВА при измерении крутящего момента: • 0; 3; 6; 9 (кПа)
2. Оценка и исследование нагрузочных характеристик		3. Крутящий момент (Нм) в зависимости от степени разряжения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД	



В-0 – вакуумметр на выходе вентилятора СТВ;
В-1-1 – вакуумметр на выходе ресивера СТВ (первая цифра место замера, вторая - № ВА)
Рисунок 3 –Места измерения разряжения на СТВ типа МС-8

Рисунок 4 – Стенд для исследования пневматических характеристик СТВ типа МС-8



В-0 – вакуумметр на выходе из источника разряжения (вихревая воздуходувка);
Р-0 – ротаметр (измерение расхода воздуха); В-1 – вакуумметр выходе из ресивера лабораторной установки;
В-2 – вакуумметр, для измерения разрежения в вакуумных камерах ВА
Рисунок 5 – Схема и места измерения степени разряжения и расхода воздуха на высевающей секции типа МС

Рисунок 6 – Лабораторная установка для исследования пневматических характеристик ВА

Рисунок 7 – Установка для измерения крутящего момента на валу ВД

Обработка данных измерений и статистический анализ проводился с помощью пакетов: прикладных программ Matlab с использованием методик [10] и стандартный пакет Excel.

Аппроксимация графиков проводилась следующими регрессионными зависимостями:

линейной типа $Y = aX + b$, степенной типа $Y = aX^{\alpha} + b$ и полиномиальной типа $Y = a_1X + a_2X^2 + b$

Критерием выбора типа регрессионной зависимости (тренда) являлось условие $R^2 \geq 0.95$ (где R^2 – коэффициент детерминации).

Результаты и обсуждение

Оценка и исследование пневматических характеристик СТВ типа МС-8

Оценка и исследование пневматических характеристик проводилась в соответствие матрицы экспериментов (таблица 1 и рисунки 3 и 4).

Результаты измерений степени разряжения представлены в таблице 2 и на рисунке 8.

Таблица 2 – Результаты измерения разряжения СТВ типа МС-8

Разрежение В-0 (на выходе из вентилятора, 520 об/мин), кПа							
1,58 ± 0,2							
Разрежение В-1 (на выходе из ресивера), кПа							
В-1-1	В-1-2	В-1-3	В-1-4	В-1-5	В-1-6	В-1-7	В-1-8
1,38 ± 0,1	1,42 ± 0,1	1,56 ± 0,1	1,58 ± 0,1	1,58 ± 0,1	1,56 ± 0,1	1,42 ± 0,1	1,38 ± 0,1
Разрежение В-0 (на выходе из вентилятора, 1000 об/мин), кПа							
5,2 ± 0,2							
Разрежение В-1 (на выходе из ресивера), кПа							
В-1-1	В-1-2	В-1-3	В-1-4	В-1-5	В-1-6	В-1-7	В-1-8
4,8 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1

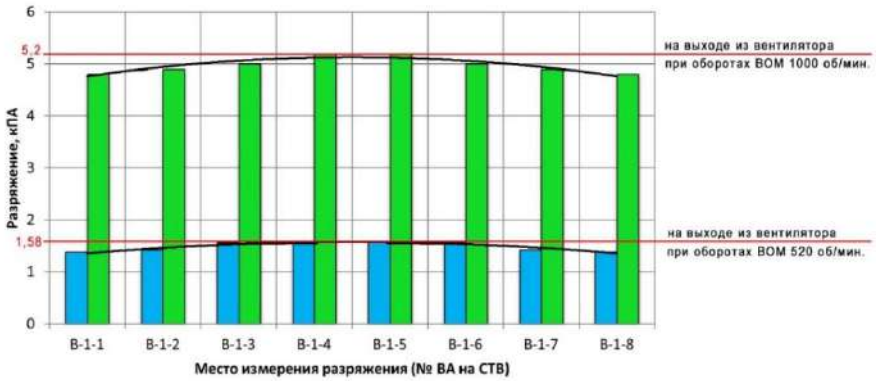


Рисунок 8 – Гистограмма распределения степени разряжения на выходе из ресивера в высевающие аппараты СТВ МС-8

По результатам измерений (таблица 2 и рисунок 8) определено следующее:

- вентиляторная установка пропашной сеялки МС-8 производства ПАО «Миллеровосельмаш» обеспечивает разряжение в трубе-ресивере не более 5…6 кПа при оборотах ВОМ 1000 об/мин и не более 1,6 кПа при оборотах ВОМ 520 об/мин;
- при этом наблюдается снижение степени разряжения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1…0,2 кПа на каждый пневмопатрубок;
- при работе вентиляторной установки наблюдается биение (пульсация) разряжения в пределах ± (0,1…0,2) кПа.

Оценка и исследование пневматических характеристик ВА типа МС

Оценка и исследование пневматических характеристик проводилась в соответствие с матрицей экспериментов (таблица 1 и рисунки 5 и 6). В качестве источника разряжения использовалась вихревая воздуходувка 1YP22-85-240-0,7, обеспечивающая степень разряжения (напор) до 21 кПа и производительность (расход воздуха) до 85 м^3/час. Режимы работы воздуходувки регулировались путем изменения оборотов рабочего колеса с 1200 до 4200 об/мин.

Результаты измерений степени разряжения и расхода воздуха представлены в таблице 3 и на рисунках 9, 10 и 11.

Таблица 3 – Результаты измерений разряжения на высевающей секции типа МС

Диаметр присасывающих отверстий ВД, мм	Обороты рабочего колеса воздуходувки, об/мин	Разрежение в вакуумной камере ВА, кПа (т. В-2 на рис.5)	Расход воздуха, м^3/час
0 (без отверстий)	4200	17	38
	3600	14	36
	3000	11	34
	2400	6,3	31
	1800	3	25
	1200	0,95	14
2,0	4200	13	50
	3600	11	46
	3000	9	42
	2400	5	36
	1800	2,2	28
	1200	0,6	18
3,0	4200	9,3	70
	3600	7,4	62
	3000	5,2	53
	2400	3,4	44
	1800	1,7	32
	1200	0,4	18
4,5	4200	6,8	76
	3600	4,2	68
	3000	3	58
	2400	1,9	46
	1800	1	34
	1200	0,2	18
6,0	4200	2	86
	3600	1,5	76
	3000	1,1	64
	2400	0,6	50
	1800	0,3	36
	1200	0,05	20

На рисунке 9 представлена напорная характеристика ВА типа МС, определяющая степень разряжения в вакуумной камере ВА в зависимости от режимов работы воздуходувки и диаметров присасывающих отверстий ВД.

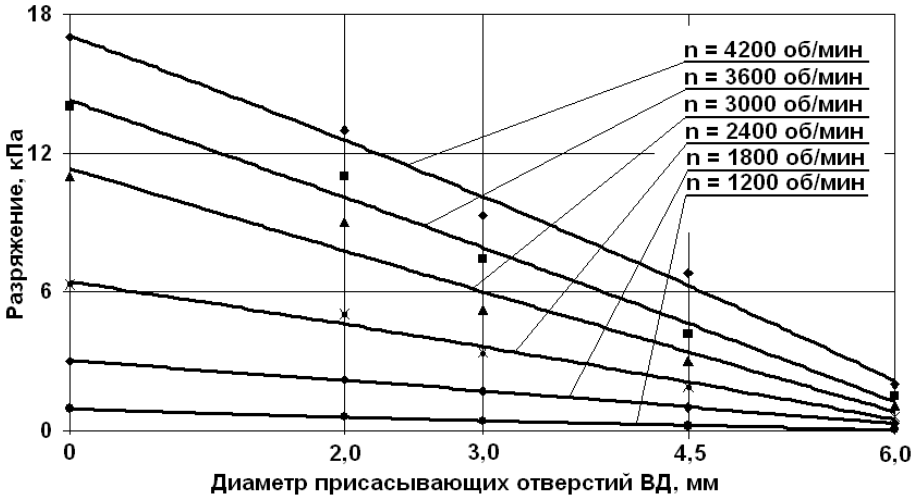


Рисунок 9 – Напорная характеристика ВА типа МС

На рисунке 10 представлена напорно-расходная характеристика ВА типа МС, определяющая расход воздуха (объем отсасываемого воздуха) из вакуумной камеры ВА, требуемого для поддержания необходимого разряжения в вакуумной камере.

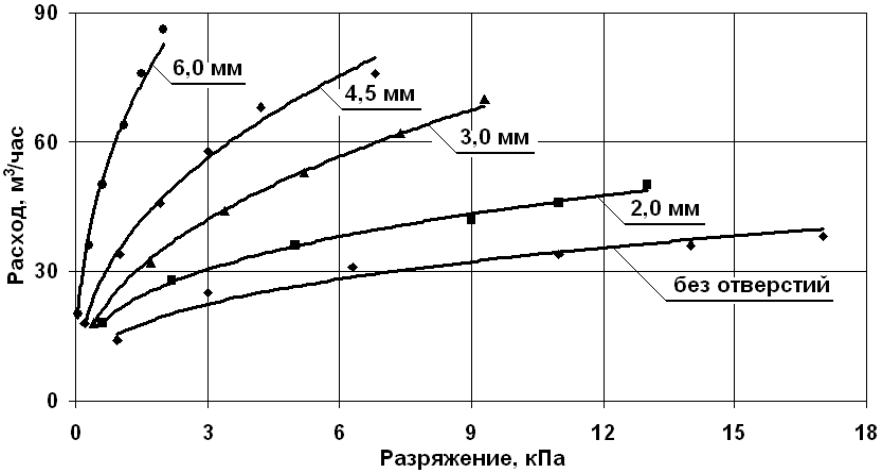


Рисунок 10 – Напорно-расходная характеристика ВА типа МС при различных диаметрах присасывающихся отверстий

Анализ напорной (таблица 3 и рисунок 9) и напорно-расходной (таблица 3 и рисунок 10) характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разряжения. Так при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм степень разряжения снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разряжения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной камеры. При номинальных режимах работы

воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разряжения объем откачиваемого воздуха должен увеличится с 42 до 64 м^3/час.

На рисунке 11 представлена расходная характеристика ВА типа МС, определяющая объем утечек воздуха и вакуумной камеры ВА в зависимости от диаметра присасывающих отверстий ВД и режимов работы воздуходувки.

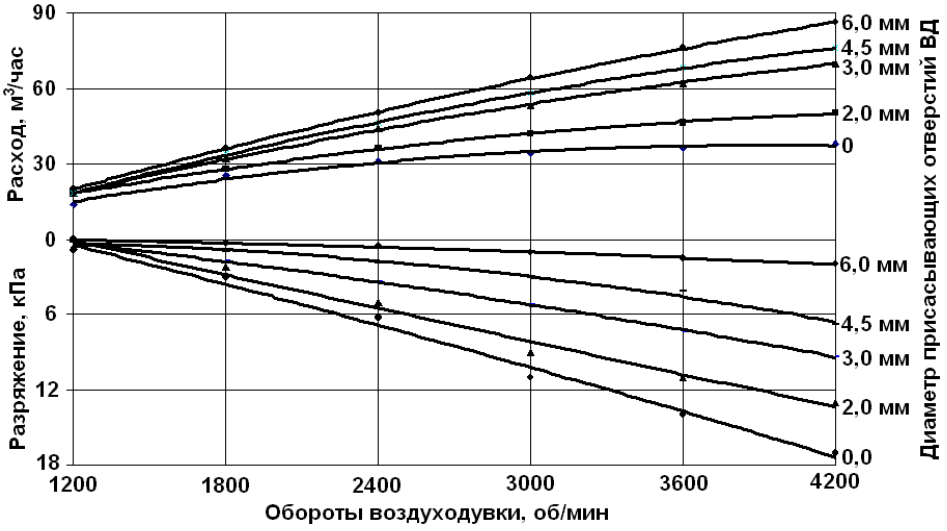


Рисунок 11 – Расходная характеристика ВА типа МС

Расходная характеристика ВА типа МС (см. табл. 3 и рис. 11) показывает, что вакуумно-дисковые имеют ВА значительные «утечки» разряжения (до 50% на всех режимах работы даже на ВД без отверстий).

Оценка и исследование нагрузочных характеристик ВА типа МС

При определении нагрузочных характеристик ВА производилась оценка крутящего момента на валу ВД в зависимости от величины разрежения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД. Величина крутящего момента определялась путем фиксации приложенной нагрузки (веса навески с песком) в момент начала вращения (срыва из положения покоя) вала ВД. Результаты измерений представлены на рисунке 12 и в таблице 4.

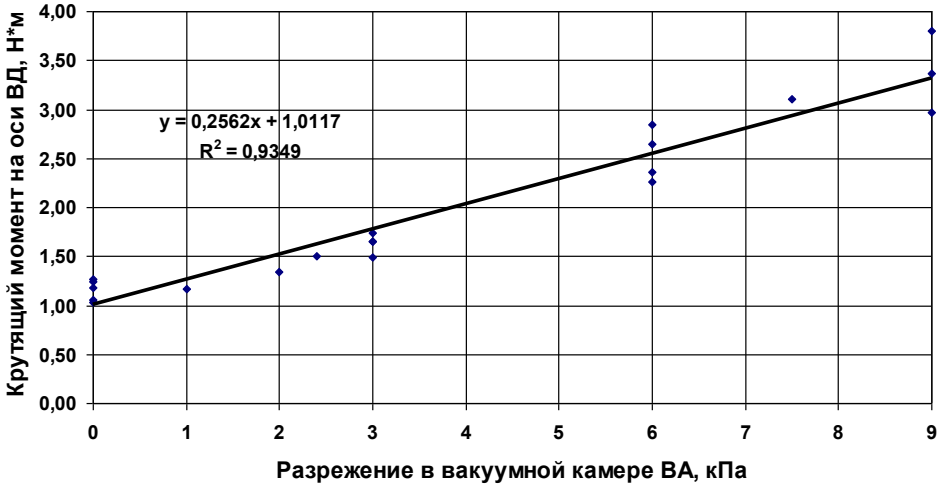


Рисунок 12 – График изменения крутящего момента в зависимости от разряжения в вакуумной камере ВА

Таблица 4 – Результаты измерения крутящего момента ВД в зависимости от разряжения в вакуумной камере ВА и диаметра присасывающих отверстий ВД

Разрежение	Масса навески			Среднее результирующее		Плечо	Момент
	1	2	3				
кН	кг	кг	кг	кг	Н	м	Нм
ВД-20 (без отверстий)							
0	0,39	0,39	0,40	0,41	4,13	0,30	1,24
3	0,49	0,47	0,47	0,50	4,96	0,30	1,49
6	0,72	0,75	0,74	0,76	7,55	0,30	2,27
9	0,95	0,97	1,00	0,99	9,91	0,30	2,97
ВД-20-2,0 (диаметр всасывающих отверстий 2,0 мм)							
0	0,38	0,39	0,36	0,39	3,94	0,30	1,18
3	0,55	0,59	0,54	0,58	5,78	0,30	1,73
6	0,87	0,95	0,97	0,95	9,48	0,30	2,84
9	1,11	1,10	1,11	1,12	11,23	0,30	3,37
ВД-20-3,0 (диаметр всасывающих отверстий 3,0 мм)							
0	0,41	0,38	0,43	0,42	4,23	0,30	1,27
3	0,56	0,54	0,50	0,55	5,51	0,30	1,65
6	0,78	0,71	0,82	0,79	7,89	0,30	2,37
9	1,15	1,31	1,29	1,27	12,67	0,30	3,80
ВД-20-4,5 (диаметр всасывающих отверстий 4,5 мм)							
0	0,31	0,33	0,36	0,35	3,52	0,30	1,06
3	0,51	0,53	0,56	0,55	5,50	0,30	1,65
6	0,87	0,86	0,86	0,88	8,80	0,30	2,64
7,5	0,97	1,00	1,08	1,04	10,35	0,30	3,11
ВД-20-6,0 (диаметр всасывающих отверстий 6,0 мм)							
0	0,32	0,35	0,31	0,34	3,44	0,30	1,03
1	0,35	0,37	0,39	0,39	3,88	0,30	1,16
2	0,47	0,44	0,39	0,45	4,47	0,30	1,34
2,4	0,49	0,49	0,47	0,50	5,01	0,30	1,50

Анализ нагрузочной характеристики ВА типа МС (таблица 4 и рисунок 12) показывает, что основным параметром, влияющим на изменение крутящего момента на валу ВД является величина разряжения в вакуумной камере ВА. При увеличении разряжения с 0 до 9 кПа крутящий момент возрастает в 3,5 раза.

Выводы

Проведенные исследования пневматических и нагрузочных характеристик сеялок точного высева (СТВ) типа МС с высевающими аппаратами (ВА) вакуумно-дискового типа на различных режимах работы позволяют сделать следующие основные выводы:

– конструкция вентиляторной установки пропашной сеялки типа МС (производства ПАО «Миллеровосельмаш» создает разряжение в вакуумных камерах ВА не более 5…6 кПа (разряжение у «продвинутых» СТВ зарубежных фирм достигает 10…15 кПа);

– при этом наблюдается снижение степени разряжения на выходе из трубы-ресивера при удалении от вентиляторной установки на 0,1…0,2 кПа на каждый пневмопатрубок;

– при работе вентиляторной установки наблюдается биение (пульсация) разряжения в пределах ± (0,1…0,2) кПа.

– анализ напорной и напорно-расходной характеристик ВА типа МС показывает, что с увеличением диаметров присасывающих отверстий ВД происходит снижение степени разряжения, так при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм разряжение снижается с 9,0 до 1,1 кПа. При этом, для поддержания требуемого разряжения необходимо увеличивать объем отсасываемого (откачиваемого) воздуха из вакуумной

камеры: при номинальных режимах работы воздуходувки (3000 об/мин) с увеличением диаметров от 2,0 до 6,0 мм для поддержания постоянного разряжения объем откачиваемого воздуха увеличивается с 42 до 64 $м^3$/час;

– расходная характеристика ВА типа МС (табл. 3 и рис. 11) показывает, что вакуумно-дисковые имеют ВА значительные «утечки» разряжения (до 50% на всех режимах работы даже на ВД без отверстий);

– анализ нагрузочной характеристики ВА типа МС показывает, что основным параметром, влияющим на изменение крутящего момента на валу ВД является величина разряжения в вакуумной камере ВА. При увеличении разряжения с 0 до 9 кПа крутящий момент возрастает в 3,5 раза;

полученные результаты проведенных исследований необходимо учитывать при модернизации существующих и разработке новых ВА.

Список литературы

1. Оптимизация вакуумных высевающих аппаратов пропашных сеялок: монография / А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, В.В. Должиков, А.В. Яковец, Д.Е. Шаповалов. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 176 с.

2. Постановление Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (п.7. Машины для посева сельскохозяйственных культур).

3. СТО АИСТ 5.6-2018. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования.

4. www.johndeere.com.

5. www.agro-sintez.com.ua.

6. Обеспечение работоспособности деталей высевающих аппаратов сеялок для пропашных культур/ О. Банный, А. Новицкий, С. Карабиньош, Ю. Новицкий // Пропозиция. – 2017. – №2 – с. 50-54.

7. Лебедев А.Т., Марьин Н.А., Марьин А.Н. Повышение долговечности пары трения «диск-прокладка» высевающих аппаратов пропашных сеялок // Наука в центральной России, №3(9), 2014. – с. 45-50.

8. Средства измерений, применяемые при испытаниях и исследованиях сельскохозяйственной техники и технологий ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Новокубанск 2019. с. 24.

9. www.horsch.com.

10. www.kinze.com.

11. www.precisionplanting.com.

References

1. Optimization of vacuum seeding devices for row-crop seeders: monograph / A.Yu. Nesmiyan, V.I. Khizhnyak, V.V. Dolzhikov, A.V. Yakovets, D.E. Shapovalov. - Zernograd: FGBOU VPO AChGAA, 2013.- 176 p.

2. Decree of the Government of the Russian Federation of August 1, 2016 No. 740 "On the determination of functional characteristics (consumer properties) and efficiency of agricultural machinery and equipment" (clause 7. Machines for sowing agricultural crops).

3. STO AIST 5.6-2018. Agricultural machinery tests. Sowing and planting machines. Indicators of purpose and reliability. General requirements.

4. www.johndeere.com.

5. www.agro-sintez.com.ua.

6. Ensuring the operability of the details of the seeding apparatus of seeders for row crops / O. Banny, A. Novitskiy, S. Karabinosh, Yu. Novitskiy // Proposition. - 2017. - No. 2 - p. 50-54.

7. Lebedev A.T., Maryin N.A., Maryin A.N. Increasing the durability of the friction pair "disc-gasket" of seeding units of row-crop seeders // Science in Central Russia, No. 3 (9), 2014. - p. 45-50.

8. Means of measurement used in testing and research of agricultural equipment and technologies FGBNU "Rosinformagrotech" (KubNIITiM), Novokubansk 2019. p. 24.

9. www.horsch.com.

10. www.kinze.com.

11. www.precisionplanting.com.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Завражнов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, начальник Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

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

Земляной Андрей Александрович – ведущий специалист Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

Ланцев Владимир Юрьевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и основ конструирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Мишин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподавать Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск

Крецу Николай Исатьевич - главный инженер ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ". Россия, г. Миллерово, e-mail: ing@msm161.ru.

Шепелев Валерий Юрьевич - Временно исполняющий обязанности начальника Технолого-конструкторского отдела ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail:to@msm161.ru

Якушев Алексей Викторович - директор по развитию ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Author credentials
Affiliations

Zavrazhnov Andrey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

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

Zemlyanoy Andrey - leading specialist of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

Lantsev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Fundamentals of Design of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Mishin Boris - candidate of technical sciences, senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Kretsu Nikolay - chief engineer of PJSC "MILLEROVOSELMASH". Russia, Millerovo, e-mail: ing@msm161.ru

Shepelev Valery - Acting Head of the Technological and Design Department of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: to@msm161.ru

Yakushev Alexey - Development Director of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Поступила в редакцию (Received): 03.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 629.3.027.53/.032:001.891
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-30-39

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТЯГИ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С УЧЕТОМ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА

[1]Пурусов Юрий Михайлович
[1]Томилов Александр Анатольевич
[1]Леонтьев Константин Николаевич
[1]Ломовских Александр Егорович
[1]Германович Александр Семенович
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. *Исследовали силу тяги колесного движителя при движении транспортного средства в неблагоприятных метрологических условиях, когда возникает проскальзывание пневматической шины относительно недеформируемой опорной поверхности (дорожного покрытия). Для таких условий эксплуатации техники разработана математическая модель, в которой, в отличии от существующих предлагается использовать скорости скольжения точек пневматической шины относительно опорной поверхности вместо коэффициента проскальзывания. Из проведенного анализа существующих теоретических исследований по определению силы тяги колесного движителя с пневматической шиной известно, что в основном характер скольжения колеса оценивается коэффициентом проскальзывания, только без учета поперечного скольжения колеса. Поэтому коэффициент трения в предлагаемой модели представлен как функция скорости проскальзывания точек шин относительно опорной поверхности, что обеспечивает более точный учет реальных процессов, происходящих в контакте между шиной и опорной поверхностью. Также получено уравнение, которое позволяет определить положение точек, находящихся на поверхности шины и осуществляющих скольжение с равными угловыми скоростями. Полученные в модели математические зависимости в отличие от известных не требуют для своего использования разделения площадки контакта на зоны юза и буксования. Разработанная модель позволяет учесть влияние поперечной скорости скольжения элементов шины, находящихся в контакте с опорной поверхностью, на силу тяги пневмоколесного движителя. В конечном итоге получена модель, которая полностью определяют силу тяги колесного движителя транспортного средства с пневматической шиной на плоской недеформируемой опорной поверхности.*

Ключевые слова: *сила тяги, колесный движитель, пневматическая шина, скорость скольжения.*

DETERMINATION OF THE TRACTION FORCE OF THE WHEEL MOVER TAKING INTO ACCOUNT THE SLIDING SPEED OF THE PNEUMATIC TIRE IN THE CONTACT AREA

[1]Purusov Yuri
[1]Tomilov Alexander
[1]Leontiev Konstantin
[1]Lomovskih Alexander
[1]Germanovich Alexander
[1]Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Voronezh

Abstract. *The thrust force of a wheeled propeller when a vehicle is moving under unfavorable metrological conditions, when slippage of a pneumatic tire occurs relative to a non-deformable supporting surface (road surface) was investigated The mathematical model, in which, in contrast to the existing ones, it is proposed to use the sliding speeds of the points of the pneumatic tire relative to the supporting surface instead of the slip coefficient, was developed for such conditions From the analysis of*

existing theoretical studies to determine the traction force of a wheel mover with a pneumatic tire, it is known that basically the nature of wheel slip is estimated by the coefficient of slippage, only without taking into account the transverse sliding of the wheel. Therefore, the coefficient of friction in the proposed model is presented as a function of the slip rate of tire points relative to the support surface, which provides a more accurate account of the real processes occurring in contact between the tire and the support surface. An equation is also obtained that allows us to determine the position of points located on the surface of the tire and sliding with equal angular velocities. The mathematical dependencies obtained in the model, unlike the known ones, do not require for their use the separation of the contact area into zones of skidding and slipping. The developed model allows us to take into account the influence of the transverse sliding speed of the tire elements in contact with the support surface on the traction force of the pneumatic wheel. In the end, a model was obtained that fully determines the traction force of the wheeled propulsion of a vehicle with a pneumatic tire on a flat, non-deformable support surface.

Keywords: *traction force, wheel drive, pneumatic tire, sliding speed.*

Введение. Специфические проблемы дорожного движения обусловлены системой «автомобиль – дорога» которая функционирует в условиях окружающей среды. Данная система относится к разряду сложной динамической системы одной из особенностей функционирования которой является взаимосвязь ее элементов (автомобиля и дороги), от которых напрямую в целом зависит безопасность дорожного движения. Изменение одного элемента этой системы напрямую влечет изменение другого. Эффективность функционирования данных элементов находится в высокой степень зависимости их от природных факторов, то есть от окружающей среды. Поэтому в процессе эксплуатации автотракторной техники необходимо учитывать метеорологические условия (дождь, снег, туман и др.), также качество материала покрытия при эксплуатации автомобильной дороги, которые играют существенную роль в безопасности на дорогах. Метрологические условия оказывают влияние на состояние дорожного покрытия, в первую очередь, на значение коэффициента сцепления автомобильных шин с дорогой. Особенно неблагоприятно для дорожного покрытия выпадение атмосферных осадков.

При выполнении полевых работ автотракторной техникой, после выпадения осадков, например дождя, сразу снижается такой показатель, как коэффициент сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, и в некоторых случаях он на столько снижается, что выполнение работ техникой становится просто невозможной, то есть колеса просто пробуксовывают в грязи. Такой же явление можно наблюдать при образования гололеда на дорогах общего пользования, в результате которого также снижается коэффициент сцепления колес с дорогой и последнее начинает пробуксовывать относительно дорожного покрытия. Данный показатель определяется, как отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дорожного покрытия к нормальной реакции в площади контакта пневматической шины с дорожным покрытием.

Также следует отметить, что на современных большегрузных карьерных самосвалах и колесных тягачах повышенной мощности применяются крупногабаритные пневматические шины, которые в значительной степени определяют тяговые качества этих машин. В связи с этим, теоретические исследования по определению силы тяги колесного движителя с крупногабаритными шинами являются актуальными.

Материалы и методы. При определении силы тяги колесного движителя в работе Ульянова Н.А. [1] коэффициент трения между шиной и опорной поверхностью представлен в виде функции:

$$\mu(\theta_\varepsilon,\sigma)=\begin{cases}\mu_n+\left[(\mu_{c\theta\sigma}-U\sigma)-\mu_n\right]\left(1-\dfrac{1}{\theta_\varepsilon^n}\right)\text{при}\,\theta_\varepsilon\geq 1\\ \mu_n+\left[(\mu_{c\theta\sigma}-U\sigma)-\mu_n\right]\left(1-\theta_\varepsilon^n\right)\text{при}\,\theta_\varepsilon\leq 1\end{cases}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения между шиной и опорной поверхностью; σ – нормальные контактные напряжения между шиной и опорной поверхностью; $\mu_{c\theta\sigma}$ – коэффициент трения скольжения резиновой шины при $\theta_\varepsilon \to 0$ или $\theta_\varepsilon \to \infty$ и $\sigma \to 0$; θ_ε – коэффициент проскальзывания рассмат-

риваемой точки относительно опорной поверхности; U – угловой коэффициент; n – параметр, который зависит от вида и состояния поверхности качения резины; μ_n – коэффициент трения шины в состоянии ее покоя.

Скорость проскальзывания элемента шины колеса, катящегося по плоскости недеформируемой опорной поверхности [1], определяется по выражению:

$$V = V_{kд}\theta_{\varepsilon} - V_{кд}, \tag{2}$$

где V – скорость проскальзывания точки шины относительно опорной поверхности, $V_{kд}$ – действительная скорость оси колеса.

Скорость проскальзывания V при постоянном значении θ_{ε} и переменном $V_{kд}$ будет меняться, а следовательно, будет меняться и коэффициент трения μ [2].

Коэффициент μ в соответствии с соотношением (1), при постоянном θ_{ε} не меняется. Однако, при изменении $V_{kд}$ значение μ меняется. Этот недостаток устраняется, если представить коэффициент трения между шиной и опорной поверхность в виде зависимости:

$$\mu = \mu(V, \sigma). \tag{3}$$

Соотношение (1) приводится к виду (3), если коэффициент θ_{ε} представить в развернутой форме:

$$\theta_{\varepsilon} = \frac{V_0 + V}{V_0}, \tag{4}$$

где V_0 – скорость оси колеса, V – скорость скольжения точки шины.

Выполнив замену (4) в первом соотношении (1), получим для $\theta_{\varepsilon} \geq 1$ (при буксовании, $V < 0$)

$$\mu' = \mu_n + A\left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0 - V}\right)^n\right], \tag{5}$$

где $A = \left[(\mu_{c\theta\sigma} - U\sigma) - \mu_n\right]$.

Поскольку коэффициент трения μ должен зависеть от величины скорости скольжения V и не должен зависеть от её направления, то соотношение (5) следует обобщить для любых значений V, положительных при юзе и отрицательных при буксовании колеса:

$$\mu(V, \sigma) = \mu_n + A\left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0 - |V|}\right)^n\right]. \tag{6}$$

Следует отметить, что в соотношении (6) V_0 – это скорость оси колеса, при которой экспериментально определились коэффициенты, входящие в (1) и зависящие от состояния шины и опорной поверхности. Таким образом, V_0 следует рассматривать как постоянный коэффициент и не смешивать его с действительной скоростью оси колеса $V_{kд}$, которая может меняться в зависимости от радиуса колеса, угловой частоты его вращения, траектории движения при неизменных μ_n, $\mu_{c\theta\sigma}$, U.

На рисунке 1 показана расчетная схема общего случая взаимодействия пневматической шины с относительно твердой поверхностью.

В работе [1] для оценки характера скольжения колеса использовали коэффициент проскальзывания θ_c, без учета поперечного скольжения колеса, а в работе [3] Никулиным П.И. такое скольжение учитывалось.

При подробном рассмотрении скорости скольжения шины на твердой недеформируемой поверхности дороги, представленной на рисунке 2, можно отметить, что точки шины колеса подвержены двум одновременным движениям (относительном по отношению к оси шины и в переносном, при движении за осью шины.

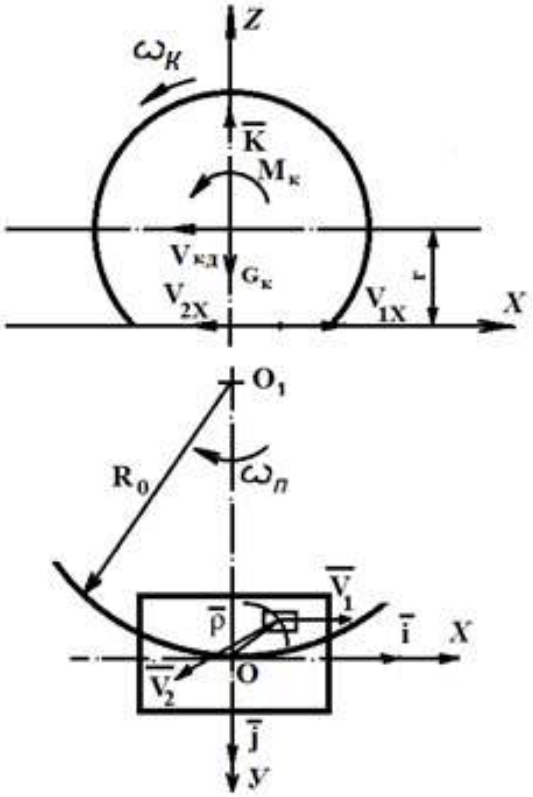


Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия шины с относительно твердой поверхностью дороги

Согласно данным рисунка 2, скорость относительного движения V_1 будет определяться следующим выражением:

$$V_{1x} = \omega_к \frac{r^2 + x^2}{r^2};$$

при условии, что V_{1y}= 0 и где r –радиус пневматической шины; ω_k – частота вращения пневматической шины колеса относительно оси; x – соответствующая координата точки колеса по горизонтальной оси.

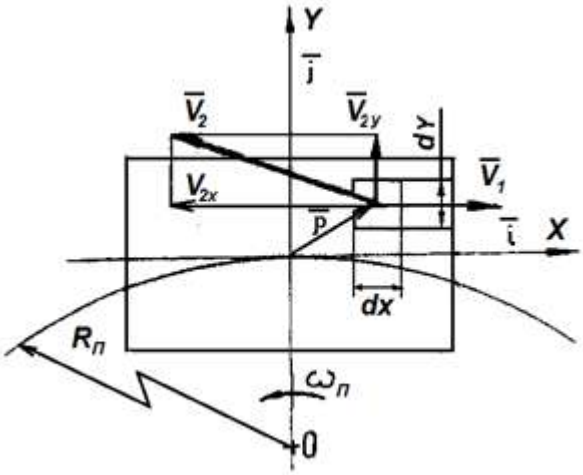


Рисунок 2 – Расчетная схема элементов колеса в пятне контакта с поверхностью дороги

Тогда согласно рисунка 2, скорость переносного движения V_2 будет определяться следующим выражением:

$$V_{2x} = -\omega_{П}(R_n + y)\ ; \qquad V_{2y} = \omega_{П} x\ ,$$

где R_n – радиус поворота колеса; $\omega_{П}$ – частота вращения колеса, только относительно центра его поворота;

y – координата точки колеса относительно вертикальной оси.

Тогда вектор скорости движения точек колеса относительно твердой поверхности дороги будет определяться выражением:

$$\overline{V} = \overline{V}_1 + \overline{V}_2\ .$$

Затем проецируем векторы скоростей на горизонтальную и вертикальную оси (X и Y) и определяем скорость проскальзывания, которая примет следующий вид:

$$|\bar{V}| = \sqrt{(V_{1x} + V_{2x})^2 + V_{2y}^2}\ . \tag{7}$$

После чего из формулы (6) определим уравнение кривой, на которой лежат точки с одинаковыми скоростями проскальзывания $\left|\overline{V}\right| = C$.

$$y = \frac{\omega_к}{\omega_{П}} \cdot \frac{r^2 + x^2}{r^2} \pm \sqrt{\left(\frac{C}{\omega_{П}}\right)^2 - x^2} - R_n\ . \tag{8}$$

Далее определяем угол α между вектором скорости и вертикальной осью по выражению представленному ниже:

$$\alpha = arccos\frac{V_1}{\bar{V}} = arccos\frac{\omega_{П} x}{C}\ . \tag{9}$$

После анализа уравнения (8) можно сделать вывод, что при решении данной задачи целесообразно рассмотреть условие $-\frac{C}{\omega_{П}} \le x \le \frac{C}{\omega_{П}}$.

Тогда выражение (8) может быть рассмотрено по двум ветвям:

$$y_1 = \frac{\omega_к}{\omega_П} \cdot \frac{r^2 + x^2}{r} + \sqrt{\left(\frac{C}{\omega_П}\right)^2 - x^2} - R_n \ ,$$

$$y_2 = \frac{\omega_к}{\omega_П} \cdot \frac{r^2 + x^2}{r} - \sqrt{\left(\frac{C}{\omega_П}\right)^2 - x^2} - R_n \ , \qquad (10)$$

Проанализировав выражение (10), можно отметить, что внутри интервала $[-\frac{C}{\omega_П} \ldots \frac{C}{\omega_П}]$ значения *x* не совпадают, поэтому по краям интервала они будут определяться по выражениям:

$$\boldsymbol{y_1\left(-\frac{C}{\omega_П}\right) = y_2\left(-\frac{C}{\omega_П}\right)} \ ;$$

$$\boldsymbol{y_1\left(\frac{C}{\omega_П}\right) = y_2\left(\frac{C}{\omega_П}\right)} \ .$$

Таким образом, полученное уравнение (10) будет описывать соответствующую замкнутую кривую.

Для точек, находящихся на этой кривой, согласно полученному уравнению (8), принимаем *C* = 0, тогда данное уравнение будет иметь решение только при *x* = 0. При этом условии выражение преобразуется для точки с координатами:

$$x = 0 \ ; \quad y = \frac{\omega_к}{\omega_П} r - R_n \ .$$

В связи с этим, точки находящиеся на поверхности колеса, движущиеся с одинаковыми скоростями, будут располагаться на кривых, согласно полученного выражения (8).

Далее решается задача по определению силы тяги колесного движителя с пневматической шиной с использованием соотношения (6), учитывающего скорость проскальзывания.

Для произвольного участка опорной поверхности шины размером *dx* на *dy* модуль силы тяги равен:

$$d\left|\overline{T}\right| = \sigma\mu\left(\left|\overline{V}\ \right|, \sigma\right) dxdy \ ,$$

где *T* – сила тяги.

Поскольку сила трения направлена противоположно скорости проскальзывания, то проекции силы тяги на оси X и Y равны:

$$dT_x = -d\left|\overline{T}\right| cos\left(\overline{\overline{Vi}}\right),$$

$$dT_y = d\left|\overline{T}\right| cos\left(\overline{\overline{Vj}}\right),$$

$$cos\left(\overline{\overline{Vi}}\right) = \frac{V_x}{|\overline{V}|},$$

$$cos\left(\overline{\overline{Vj}}\right) = \frac{V_y}{|\overline{V}|},$$

где $\overline{i}$, $\overline{j}$ – единичные векторы, направленные соответственно вдоль осей X и Y.

Суммарная сила тяги представлена двумя составляющими определяющимися выражениями:

$$T_x = -\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\sigma\mu\left(|\overline{V}|,\sigma\right)\frac{V_x}{|\overline{V}|}dxdy,$$
$$T_y = -\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\sigma\mu\left(|\overline{V}|,\sigma\right)\frac{V_y}{|\overline{V}|}dxdy. \quad (11)$$

Подынтегральное выражение в (11) является нечетной функцией по X, следовательно T_y=0. Тогда получим:

$$\overline{T} = \overline{T_x}\cdot\overline{i}. \quad (12)$$

Сила тяги определена, найдем точку ее приложения. Для этого запишем момент $d\overline{M_0}$ силы $d\overline{T}$ относительно точки O начала координат:

$$d\overline{M_0} = \overline{\rho}d\overline{T} = \begin{vmatrix} \overline{i} & \overline{j} & \overline{k} \\ \rho_x & \rho_y & \rho_z \\ dT_x & dT_y & dT_z \end{vmatrix}, \quad (13)$$

где $\overline{\rho}$, $\overline{\rho_x}$, $\overline{\rho_y}$, $\overline{\rho_z}$ – радиус-вектор, направленный из точки O в точку приложения силы $d\overline{T}$ и его проекции на оси X, Y, Z соответственно, $\overline{k}$ – единичный вектор, направленный вдоль оси Z, в соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 1.

Из схемы ясно, что:

$$\rho_x = x;\ \ \rho_y = y;\ \ \rho_z = 0;\ dT_x = 0. \quad (14)$$

Раскрывая определитель (13) с учетом уравнения (14), получим:

$$d\overline{M_0} = \overline{k}\left(xdT_y - ydT_x\right).$$

Если все векторы направлены параллельно оси Z, то их можно раскрыть алгебраически, поэтому получим:

$$\overline{M_0} = \overline{k}\int_{-a}^{a}\int_{-в}^{в}\left(xdT_y - ydT_x\right)dxdy.$$

Момент можно записать и через равнодействующую силы тяги:

$$\overline{M_0} = \overline{\rho_0}\overline{T_x} = \begin{vmatrix} \overline{i} & \overline{j} & \overline{k} \\ \rho_{0x} & \rho_{0y} & \rho_{0z} \\ T_x & T_y & T_z \end{vmatrix}, \quad (15)$$

где $\overline{\rho_0}$, $\overline{\rho_{0x}}$ $\overline{\rho_{0y}}$, $\overline{\rho_{0z}}$ – радиусы-векторы, соединяющие начало координат с точкой приложения силы $\overline{T}$ и проекции вектора $\overline{\rho_0}$ на оси X, Y, Z соответственно.

Раскрывая определитель (15) с учетом того, что $T_y = T_z = 0$, получаем:

$$\overline{M_0} = -\overline{k}\rho_{0y}T_x ,$$

отсюда получаем выражение 16.

$$\rho_{0y} = -\frac{\overline{M_0}}{\overline{k}T_x}, \quad \rho_{0x} = \rho_{0z} = 0 . \tag{16}$$

Таким образом, точка $\overline{T}$ находится на оси Y на расстоянии $\rho_{0y} = -\frac{M_0}{T_x}$ от оси координат.

Заключение. Таким образом, анализ представленных теоретических исследований по определению силы тяги колесного движителя с пневматической шиной позволяет сделать следующие выводы:

1. Коэффициент трения μ в соотношениях (12) и (16) представлен как функция скорости проскальзывания точек шин относительно опорной поверхности. Это обеспечивает более точный учет реальных процессов, происходящих в контакте между шиной и опорной поверхностью, по сравнению с [1], где коэффициент трения рассматривается как функция коэффициента проскальзывания.

2. Уравнение (8) позволяет определить положение точек, находящихся на поверхности шины и осуществляющих скольжение с равными угловыми скоростями.

3. Соотношения (6) и (11) в отличие от аналогичных соотношений, приводимых в [1], не требуют для своего использования разделения площадки контакта на зоны юза и буксования.

4. Учтено влияние поперечной скорости скольжения элементов шины, находящихся в контакте с опорной поверхностью, на силу тяги пневмоколесного движителя.

5. Соотношения (12) и (16) полностью определяют силу тяги колесного движителя транспортного средства с пневматической шиной на плоской недеформируемой опорной поверхности.

Список литературы

1. Ульянов, Н.А. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины [Текст]: учебник / Н.А.Ульянов, Э.Г. Ронинсон, В.Г. Соловьев. М.: Машиностроение, 1976. 359 с.

2. Кнороз, В.И. Работа автомобильной шины [Текст]: учебное пособие / И.В. Кнороз. М.: Автотрансиздат, 1960. 229 с.

3. Никулин, П.И. Теория криволинейного движения колесного движителя [Текст]: учебное пособие / П.И. Никулин. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. 212 с.

4. Смирнов, А. Г. Исследование скольжения пневматической шины колесного движителя при криволинейном движении [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технические наук / А. Г. Смирнов. Воронеж: ВГАСУ, 1961. № 1. С. 41–45.

5. Пурусов, Ю.М. Определение силы тяги колесного движителя с крупногабаритными пневматическими шинами при движении по дуге окружности [Текст] / Ю.М. Пурусов, К.Н. Леонтьев, В.И. Черноиванов // Молодежные чтения памяти Ю.А. Гагарина: сборник статей по материалам II научно-практической конференции. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. С. 181–186.

6. Пурусов, Ю.М. Теоретические исследования по определению силы тяги колесного движителя аэродромного тягача [Текст] / Ю.М. Пурусов, К.Н. Леонтьев, А.Т. Заварзин // Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов: сборник статей по материалам II научно-технической конференции. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 227–231.

7. Пурусов, Ю.М. Скольжение элементов пневматической шины в области контакта с опорной поверхностью [Текст] / Ю.М. Пурусов, К.Н. Леонтьев, В.В. Ольховиков // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 2019. С. 234–240.

8. Леонтьев, К.Н. Теоретические исследования по формированию силы тяги колесного движителя транспортного средства специального назначения [Текст] / К.Н. Леонтьев, Д.В. Гриценко // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: материалы международной научно-практической конференции (27 марта 2020). Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 2020. С. 52–59.

References

1. Ulyanov, N. A. Self-propelled wheeled earthmoving and transport machines [Text]: textbook / N. A. Ulyanov, E. G. Roninson, V. G. Solovyov. - M.: Mashinostroenie, 1976. - 359 p.

2. Knoroz, V.I. Work of automobile tires [Text]: textbook / V.I. Knoroz. - M.: Avtotransizdat, 1960. - 229 p.

3. Nikulin, P.I. Theory of curvilinear motion of the wheel propulsion [Text]: textbook / P.I. Nikulin. - Voronezh: Publishing house VGU, 1992. - 212 c.

4. Smirnov, A. G. Research of sliding of the pneumatic tire of the wheel propulsion system at the curvilinear movement [Text]: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / A. G. Smirnov. – Voronezh: VGASU, 1961. - № 1. - P. 41 - 45.

5. Purusov, Yu.M. Determination of the thrust force of a wheel propulsion system with large-sized pneumatic tires when driving along the arc of a circle [Text] / Yu.M. Purusov, K.N. Leontiev, V.I. Chernoivanov / Youth readings in memory of Yu.A. Gagarin: a collection of articles on the materials of the II scientific and practical conference. – Voronezh: WCS VVS "VVA", 2015. – S. 181-186.

6. Purusov, Yu.M. Theoretical studies to determine the thrust force of the wheel propulsion of the airfield tractor [Text] / Yu.M. Purusov, K.N. Leontiev, A.T. Zavarzin / Priority directions and actual problems of development of aircraft maintenance facilities: a collection of articles on the materials of the II scientific and technical conference. – Voronezh: WCS VVS "VVA", 2016. – S. 227-231.

7. Purusov, Yu.M. Sliding of pneumatic tire elements in the field of contact with the support surface [Text] / Yu.M. Purusov, K.N. Leontiev, V.V. Olkhovikov / Energy efficiency and energy saving in modern production: materials of the international scientific and practical conference. – Voronezh: FGBOU VO VGAU, 2019. – S. 234-240.

8. Leontiev, K.N. Theoretical studies on the formation of the thrust force of the wheeled propulsion of a special purpose vehicle [Text] / K.N. Leontiev, D.V. Gritsenko / Actual directions of scientific research for the effective development of the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference (March 27, 2020). – Voronezh: FGBOU VO VGAU, 2020. – S. 52-59.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Пурусов Юрий Михайлович – кандидат технических наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия. г. Воронеж.

Томилов Александр Анатольевич – кандидат военных наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия. г. Воронеж, e-mail: tomilov-vrn@yndex/ru.

Леонтьев Константин Николаевич – доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия. г. Воронеж. e-mail: lekon-lkn@yndex/ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия. г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yndex/ru.

Германович Александр Семенович – доцент, преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия. г. Воронеж.

Author credentials
Affiliations

Purusov Yuri - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Military Training and Research Center of the Air Force" Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia. Voronezh.

Tomilov Alexander - Candidate of Military Sciences, Professor of the Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Military Training and Research Center of the Air Force" Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia. Voronezh, e-mail: tomilov-vrn@yndex.ru.

Leontiev Konstantin - Associate Professor of the Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Military Training and Research Center of the Air Force" Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia. Voronezh. e-mail: lekon-lkn@yndex.ru.

Lomovskikh Alexander - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Military Educational Institution of Higher Education "Military Training and Research Center of the Air Force" Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia. Voronezh, e-mail: lomovskih1979@ yndex.ru.

Germanovich Alexander - Associate Professor, Lecturer at the Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education "Military Training and Research Center of the Air Force" Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia. Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 06.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 631.313.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-39-48

ДИНАМИКА РОТАЦИОННЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИГОЛЬЧАТОГО ТИПА

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[2]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Уварова Анна Георгиевна
[1]Таныгин Олег Федорович
[1]Лукин Сергей Геннадьевич

[1]ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И.Иванова
[2]ООО «Меридиан»

Реферат: *В статье рассмотрены особенности применения дисковых рабочих органов при обработке почвы. Выпускаемое промышленностью разнообразие дисковых рабочих органов, таких как лущильников и борон, часто не удовлетворяют агротребованиям поверхностной обработки. Все большее распространение находят высокопроизводительные ротационные орудия. В работе отмечены характеристики бесприводного ротационного орудия, основанного на принципе подтормаживания. Конструкция, являющаяся предметом изучения, включает две параллельные горизонтальные батареи игольчатых дисков, соединенных цепной передачей с коэффициентом подтормаживания 2,5-3,0. При выводе искомых уравнений рассматривается конструктивная схема при одинаковых радиусах тормоза и батареи рабочих органов. Полученные рабочие уравнения описывают траекторию движения конца рабочих элементов в механической системе с подтормаживанием в вариантах режима тормоза без скольжения, со скольжением или с буксованием. Они могут быть использованы при анализе кинематики воздействия рабочих элементов тормоза и рыхлящего органа на почву, построении номограмм и технологического расчета параметров почвенных неровностей. Исследована динамика и конструктивно-режимные параметры*

рыхлителя. Реальным условиям работы орудия соответствует вариант, когда тормоз движется с некоторым скольжением, а рабочие органы второй батареи - с буксованием. Результаты исследований найдут применение в разработке и усовершенствовании игольчатых рабочих органов бесприводных почвообрабатывающих орудий.

Ключевые слова: *почвообработка, ротационные рабочие органы, игольчатые диски, динамика.*

DYNAMICS OF ROTARY TILLAGE WORKING BODIES OF NEEDLE TYPE

[1]Shvartz Anatoly
[2]Shvarts Sergey
[1]Uvarova Anna
[1]Tanygin Oleg
[1]Lukin Sergey

[1]FGBOU VO Kursk State Agricultural Academy named after I.I.Ivanov
[2]OOO "Meridian"

Abstract. *The article discusses the features of the use of disk working bodies in tillage. The variety of disk working bodies produced by the industry, such as huskers and harrows, often do not meet the agricultural requirements of surface treatment. High-performance rotary guns are becoming increasingly common. The paper notes the characteristics of a non-water rotary gun based on the principle of braking. The design, which is the subject of study, includes two parallel horizontal batteries of needle disks connected by a chain drive with a braking coefficient of 2.5-3.0. When deriving the desired equations, a constructive scheme is considered for the same radii of the brake and the battery of the working bodies. The obtained working equations describe the trajectory of movement of the end of the working elements in a mechanical system with braking in the variants of the brake mode without sliding, with sliding or with slipping. They can be used in the analysis of the kinematics of the impact of the working elements of the brake and the loosening organ on the soil, the construction of nomograms and technological calculation of the parameters of soil irregularities. The dynamics and design-mode parameters of the ripper are investigated. The real working conditions of the gun correspond to the option when the brake moves with some sliding, and the working bodies of the second battery - with slipping. The results of the research will be used in the development and improvement of needle-like working bodies of non-water tillage tools.*

Keywords*: tillage, rotary working bodies, needle discs, dynamics.*

Введение. Механическая обработка почвы - самый древний и распространенный вид работы в сельском хозяйстве. Как по значению, так и по трудоемкости она всегда занимала в земледелии первое место [1]. На проведение ее затрачивается колоссальное количество энергии. Использование большого количества энергетических ресурсов оправдывается, если обработка почвы проводится в соответствии с требованиями культур, с учетом почвенных и климатических особенностей.

В настоящее время в условиях резкой интенсификации земледелия, широкого применения удобрений, химических средств защиты посевов, обработка почвы продолжает оставаться фундаментальной основой земледелия, хотя не только орудия, но и многие приемы работы и последовательность их выполнения стали другими[2,3].

Среди многих применяемых технологий значительное место занимает поверхностная обработка почвы и механизация данного процесса с участием дисковых орудий [4,5,6].

Анализ и обсуждение. Рассмотрим подробнее характер работы бесприводного ротационного орудия с игольчатыми рабочими органами. Конструктивная схема почвообрабатывающих орудий, основанных на принципе подтормаживания [6,7,8,9,10] включает два установленных на общей раме рабочих органа в виде батарей игольчатых дисков I и II, соединенных цепной передачей III (рисунок 1). В этой механической системе батарея I играет роль тормоза основной батареи рабочих органов II. При движении системы со скоростью $\vec{V}$от действия силы тяги, приложенной к центру батарей I и II и сил сцепления тормоза I и батареи II с почвой, они совершают одновременно вращательное и переносное поступательное движения [11].

При этом батарея II за счет цепной передачи III получает, в сравнении с тормозом I, замедленное вращение, а ее рабочие элементы производят рыхление почвы на глубину *h*.

Траектория, описываемая в пространстве концов зубьев батареи II определяет форму и размеры лунок в почве, характер деформации почвы, взаимодействие рабочих элементов с ней и другие характеристики процесса.

При выводе искомых уравнений исходим из троякого возможного способа движения тормоза I, т.е. решаем задачу в общем виде. Имеем (рисунок 1) $V=const; i=\frac{z_2}{z_1}>1$ рассматриваем конструктивную схему при одинаковых радиусах *R* тормоза и батареи рабочих органов.

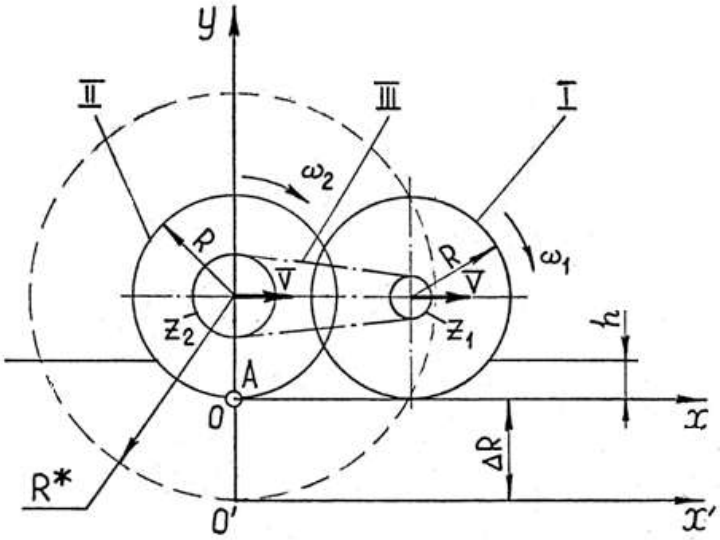


Рисунок 1 - Принципиальная схема механической системы с подтормаживанием.
I – тормоз, II – батарея рабочих органов, III – цепная передача

а) Тормоз I движется по оси OX без скольжения

Очевидно, что поступательная скорость $\overline{V}$ машины, угловая скорость и ω_1 тормоза и его радиус связаны соотношением $V=\omega_1\cdot R$, а угловая скорость ω_2 батареи рабочих органов II в *i* раз будет меньше угловой скорости тормоза, т.е. $\omega_2=\frac{\omega_1}{i}$. На основании теории В.П. Горячкина [12] качение батареи II радиуса *R* можно заменить качением без скольжения по оси $o'x'$ некоторой окружности радиуса $R+\Delta R$, тогда для батареи II скорость lвижения ее центра через угловую скорость выразится $V=\omega_2(R+\Delta R)=\frac{\omega_1}{i}(R+\Delta R)$.

Следовательно

$$\omega_1 R=\frac{\omega_1}{i}(R+\Delta R) \tag{1}$$

Откуда приращение ΔR радиуса *R* будет

$$\Delta R=R(i-1) \tag{2}$$

Радиус окружности, катящейся по оси $o'x'$ без скольжения будет равен

$$R^*=R+\Delta R=R\cdot i \tag{3}$$

Кинематически заданный цепной связью III коэффициент скольжения рабочего органа II можно вычислить по формуле В.П. Горячкина [12].

$$\varepsilon_o=\frac{\Delta R}{R^*}=\frac{i-1}{i} \tag{4}$$

Для определения траектории точки *A* конца рабочего элемента рабочего органа II рассмотрим его исходное C_1 и произвольное положения C_2 его центра после поворота на угол φ (рисунок 2).

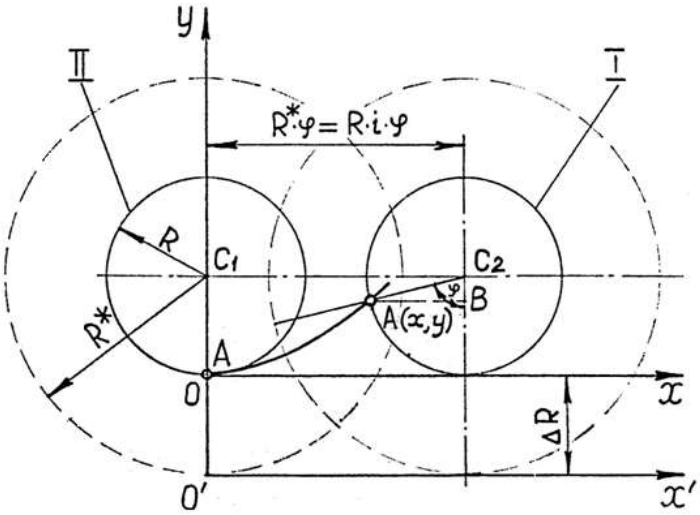


Рисунок 2- Схема к выводу уравнения траектории точки А рабочего органа.
C_1, C_2 – начальное и конечное положение рабочего органа II.

Точка *A* займет положение A_1 (*x, y*). Нахождение закона изменения координат *x* и *y* и определит искомую траекторию.

Очевидно, что с учетом (3) $C_1C_2 = R^* \cdot \varphi = R \cdot i \cdot \varphi; A_1B = R\sin\varphi; C_2B = R\cos\varphi.$ Поэтому координаты точки A_1 будут

$$\begin{cases} x = C_1C_2 - A_1B = R\varphi \cdot i - R\sin\varphi = R(\varphi \cdot i - \sin\varphi) \\ y = C_1O - C_2B = R - R\cos\varphi = R(1 - \cos\varphi) \end{cases} \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет траекторию движения концов рабочих элементов ротационного органа II при движении тормоза I без скольжения, оно опубликовано в работах [13,14,15].

б) Тормоз I движется по *OX* с некоторым скольжением ε_1

В этом случае на основании теории В.П. Горячкина о качении колес и катков [4] качение тормоза I радиуса *R* по оси *OX* со скольжением может быть представлено, как качение без скольжения мнимой окружности радиуса *R* по o"*x*" (рисунок 3). Поскольку коэффициент скольжения ε_1 задан (он может быть найден из эксперимента), это позволяет определить радиус R_1, т.к. по формуле В.П. Горячкина приращение $\Delta_1 R$ радиуса *R* может быть найдено из выражения

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta_1 R}{R + \Delta_1 R} \quad (6)$$

Поэтому

$$R_1 = R + \Delta_1 R = R + \frac{R \cdot \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1} = \frac{R}{1 - \varepsilon_1}$$

По выражению (3), радиус R^{**} мнимой окружности рабочего органа II, катящейся по оси *o'x'* без скольжения, будет равен

$$R^{**} = R_1 \cdot i = \frac{R \cdot i}{1 - \varepsilon_1} \quad (7)$$

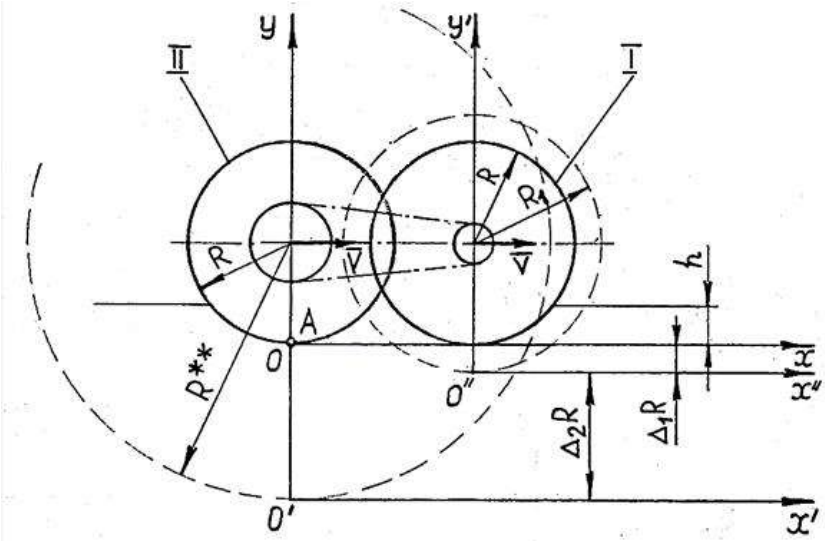


Рисунок 3 - Кинематическая модель движения механической системы при качении тормоза I по оси *ox* со скольжением

Полученное выражение (7) позволяет, в свою очередь, ответить на вопрос о величине скольжения рабочего органа II при заданном скольжении ε_1 тормоза I и получить рабочую формулу для его вычисления

Т.к. $\Delta_2 R = R^{**} - R = \dfrac{R \cdot i}{1-\varepsilon} - R$, то скольжение ε рабочего органа II с учетом выражения (4) будет

$$\varepsilon = \frac{\Delta_2 R}{R + \Delta_2 R} = \frac{i-1}{i} + \frac{\varepsilon_1}{1} = \varepsilon_o + \frac{\varepsilon_1}{i}. \tag{8}$$

Практическая применимость формулы (8) состоит в том, что она позволяет вычислить величину скольжения рабочего органа II, если задано (или известно из эксперимента) фактическое скольжение тормоза I. Кинетически заданное скольжение ε_o в формулу (8) входит составной частью.

Вывод уравнения траектории точки *A* аналогичен изложенному выше (рисунок 4), но в этом случае, с учетом выражения (7)

$$C_1C_2 = R^{**} \cdot \varphi = \frac{R \cdot i \cdot \varphi}{1-\varepsilon_1}; A_1B = R\sin\varphi; C_2B = R\cos\varphi$$

Следовательно, в системе *yox* будет иметь

$$\begin{cases} x = C_1C_2 - A_1B = \dfrac{R \cdot i \cdot \varphi}{1-\varepsilon_1} - R\sin\varphi = \dfrac{R}{1-\varepsilon}\left[\varphi \cdot i - (1-\varepsilon_1)\sin\varphi\right] \\ y = C_1O - C_2B = R(1-\cos\varphi) \end{cases} \tag{9}$$

где φ - угол поворота рабочего органа II в радианах;

ε_1 - коэффициент скольжения тормоза I.

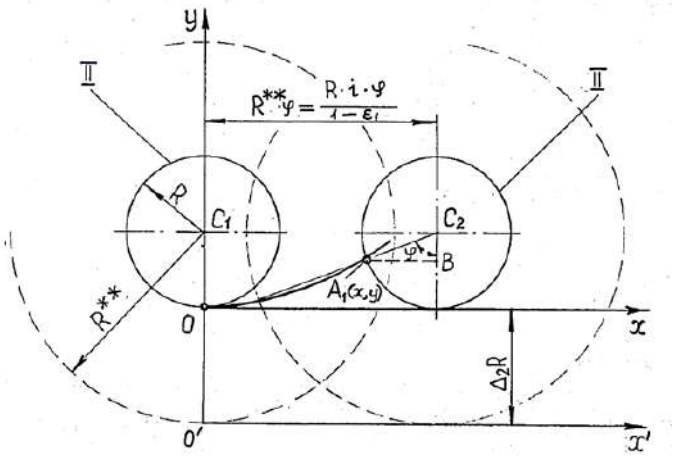


Рисунок 4 - Схема к выводу уравнения траектория точки *A* рабочего органа при качении тормоза со скольжением C_1, C_2 – начальное и конечное положение рабочего органа II после поворота на угол

в) Тормоз I движется по *ox* с некоторым буксованием *η*

Рассмотрим далее третий из возможных способов движения рассматриваемой механической системы, когда тормоз I движется по *ox* с некоторым буксованием *η* (рисунок 5).

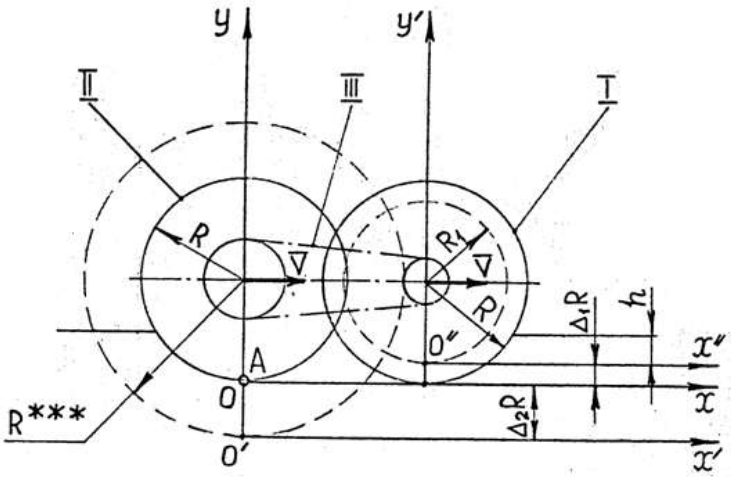


Рисунок 5 - Кинематическая модель движения механической системы при качении тормоза I по оси *ox* с буксованием.

При этом следует иметь ввиду, что в этой механической системе, не имеющей активного привода, к ее рабочим органам, коэффициент буксования не может быть большим, так что основным исходным условием задачи является условие $0 < \eta \ll 1$, а фактическое значение параметра *η* определяется экспериментальным путем.

На основании теории В.П. Горячкина [12], качение тормоза I радиуса *R* по оси *ox* с буксованием можно заменить качением без скольжения жестко связанной с тормозом окружности радиуса R_1. по оси *o″x″*.

Очевидно, что $\Delta_1 R = \dfrac{R \cdot \eta}{1+\eta}$,

тогда

$$R_1 = \frac{R}{1+\eta} \tag{10}$$

С учетом выражения (3) радиус R^{***} жестко связанный с ротационным органом I окружности, катящейся по оси $o'x'$ (рисунок 6) без скольжения, определится из выражения

$$R^{***} = R_1 \cdot i = \frac{R_i}{1+\eta} \tag{11}$$

Необходимо учесть, что выражение (11) пока не позволяет судить о виде движения рабочего органа II по *ox* (со скольжением, без скольжения или с буксованием). Для выяснения вида движения приравняем $R^{***} = R$, т.е. $\frac{R \cdot i}{1+\eta} = R$, откуда

$$i = 1+\eta \tag{12}$$

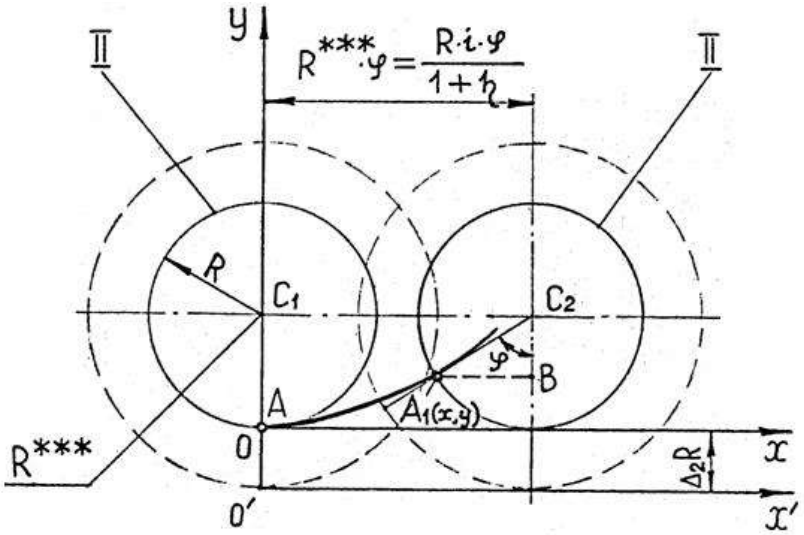


Рисунок 6 - Схема к выводу уравнения траектории точки *A* рабочего органа при качении тормоза с буксованием. C_1 и C_2 – начальное и конечное положение рабочего органа II после поворота на угол φ.

Следовательно, при движении тормоза I по оси *ox* с буксованием рабочий орган II будет двигаться по *ox* без скольжения только в случае соблюдения соотношения (12). При $i \succ 1+\eta$ качение ротационного органа II по *ox* происходит со скольжением.

По экспериментальным данным Седнева Н.А., коэффициент буксования тормоза I $0 \prec \eta = 0{,}13$, поэтому для соблюдения соотношения (12) передаточное отношение цепной передачи должно быть $i = 1.13$. В реализованных конструкциях ротационных рыхлителей работающих с использованием принципа подтормаживания, рекомендуемое передаточное отношение цепной передачи $i = 2...4{,}5 \succ i = 1{,}13$, в связи с чем, при анализе кинематики движения рыхлящего рабочего органа II, когда тормоз I работает с некоторым буксованием $0 \prec \eta \le 0{,}2$, следует заведомо полагать, что рабочий орган П движется со скольжением.

Вывод параметрического уравнения траектории точки *A* рабочего органа II при движении тормоза I с буксованием аналогичен по смыслу изложенным выше примерам, но в этом случае (рисунок 6).

$$C_1C_2 = \frac{R \cdot i \cdot \varphi}{1+\eta}; \;\; A_1B = R\sin\varphi; \;\; C_2B = R\cos\varphi.$$

Следовательно, в системе координат УОХ параметрическое уравнение точки *A* будет

$$\begin{cases} x = C_1C_2 - A_1B = \dfrac{R}{1+\eta}\left[\varphi \cdot i - (1+\eta)\sin\varphi\right] \\ y = C_1O - C_2B = R(1-\cos\varphi) \end{cases} \quad (13)$$

где φ - угол поворота рабочего органа в радианах;

η - коэффициент буксования тормоза.

Таким образом, получены рабочие уравнения (5), (9), (13) в параметрической форме описывающие траекторию движения конца рабочих элементов ротационного органа в механической системе с подтормаживанием при работе тормоза без скольжения, со скольжением или с буксованием. Эти уравнения могут быть использованы при анализе кинематики воздействия рабочих элементов тормоза и рыхлящего органа на почву.

Во-вторых, использование некоторыми авторами [8,13,15] уравнения (5) для целей кинематического анализа, построения номограмм и технологического расчета параметров образованных в почве лунок представляется необоснованным, т.к. оно является частным случаем уравнений (9) и (13), вытекающим из условия $\varepsilon_1 = \eta = 0$. В реальных условиях работы почвообрабатывающих рыхлителей, построенных по принципу подтормаживания рабочего органа (рисунок 1) тормоз I фактически работает с некоторым буксованием, равным 0,04-0,136 (данные осциллографирования Н.А.Седнева).

В реальных условиях работы движение тормоза без скольжения фактически невозможно из-за нежесткого сцепления его с почвой, ее сминаемости и деформации от действия сил подтормаживания рабочего органа, передаваемых к тормозу цепной передачей.

Без учета буксования тормоза определение, например, абсциссы X по уравнению (5) приводит к погрешности 5,2-21,6%. Подобная погрешность будет иметь место и при вычислении других параметров, при определении формы и размеров лунок, выкапываемых в почве игольчатыми элементами рабочего органа и т.д.

Наконец, важно подчеркнуть, что если из эксперимента известно отношение окружной скорости V_o к поступательной скорости $V_п$ центра подторможенного ротационного органа II (рисунок 1), то траектория концов рабочих элементов может быть выражена через кинематический параметр одним уравнением [8]

$$\begin{cases} x = \dfrac{R}{\lambda}(\varphi - \lambda \cdot \sin\varphi) \\ y = R(1-\cos\varphi) \end{cases} \quad (14)$$

где $\lambda = \dfrac{V_o}{V_n}$ - кинематический параметр.

Вывод. Для рассмотренных выше возможных случаев движения тормоза I соотношения между λ и коэффициентами скольжения подторможенного органа или буксования тормоза будут:

а) **Тормоз I движется по *ox* без скольжения (буксования)** (рисунок 1).

Тогда взаимосвязь между коэффициентом скольжения ε_o, кинематически заданным цепной связью рассматриваемой механической системы и параметром λ_1, выражается так

$$\varepsilon_o = \frac{i-1}{i} = 1 - \lambda_1 \quad (15)$$

б) **Тормоз I движется по *ox* со скольжением** ε_1 (рисунок 3).

В этом случае с учетом (8) скольжение рабочего органа I и кинематический параметр связаны соотношением

$$\varepsilon = \frac{i-1+\varepsilon_1}{i} = 1 - \lambda_3 \quad (16)$$

в) **Тормоз I движется по *ox* с буксованием *η*.**

В данном случае, при условии соблюдения $i \succ 1+\eta$, будем иметь

$$\varepsilon = \frac{i-1-\eta}{i} = 1-\lambda_3 \qquad (17)$$

В общем случае соотношение между кинематическим параметром λ и коэффициентом скольжения ε или буксования η данного рабочего органа будет $\varepsilon = 1-\lambda$ и $\eta = \lambda - 1$.

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 Шварц А.А., Лукин С.Г. Обоснование поверхностной обработки почвы // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК: матер. Всерос. национал. науч.-практ. Конф., г. Курск, 11-13 декабря 2019г., ч.1. – Курск: изд-во Курск. ГСХА, 2020. – С. 360-364.

4. Синеоков Г.Н Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: Машгиз, 1989. – 86 с.

5. Бородин Н., Кириченко А. Новый почвообрабатывающий агрегат // Земледелие. – 1982. – № 7. – С. 70-71.

6. Кувайцев В.Н. Машины и орудия для обработки почвы / В.Н.Кувайцев.-М.:Бибком, 2013.-626 с.

7. Седнев Н.А. Анализ работы вращающихся рабочих органов при движении с торможением. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. - № 10.- С. 18-19.

8. Котельников В.Я., Орлов В.М. Технологический расчет параметров лунки при работе роторных машин с пассивным приводом. Сельскохозяйственные машины. Сб. научных трудов МИИСП, т. II, вып. I, часть 2, М. - 1974.- С. 18-24.

9. Диско-зубовая коническая борона / Мазитов И.К., Маликов М.М., Гайнанов Х.С., Денисов В.Я. [и др.] // Земледелие. – 1981. – № 3. – С. 58-60.

10. Терещенко И.О., Зыков В.А. Эффективность игольчатой бороны-мотыги. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – № 2. – С. 9-11.

11. Седнев Н.А. Энергоемкость процесса обработки почвы игольчатыми дисками при движении с затормаживанием. // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. - № 3.- С. 16-17.

12. Горячкин В.П. Собрание сочинений, т.1, изд. "Колос", М., 1963, с.263.

13. Котельников В.Я., Семенов А.Н., Орлов В.М. Кинематический анализ работы ротационных рабочих органов с тормозными устройствами. Сб. Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин, № 5, Киев, 1975, с. 7-11

14. Зиязетдинов Р.Ф. Исследование процессов работы агрегатов с игольчатыми дисками на обработке сельхозкультур: дис …канд. техн. Наук. – Челябинск, 1985.

15. Седнев Н.А. Кинематика игольчатого диска при движении с затормаживанием. // Тракторы и сельхозмашины. – 1978.- № 10.- С.16-19.

References

1. Narcissov V.P. Nauchnye osnovy sistem zemledeliya. – M.: Kolos, 1982. – 328s.

2. SHvarc A. A. Tekhnologii i mashiny pochvozashchitnoj obrabotki pochvy. – Kursk: izd-vo KGSKHA, 2004. – 216 s.

3 SHvarc A.A., Lukin S.G. Obosnovanie poverhnostnoj obrabotki pochvy // Aktual'nye problemy molodezhnoj nauki v razvitii APK: mater. Vseros. nacional. nauch. - prakt. Konf., g. Kursk, 11-13 dekabrya 2019g., ch.1. – Kursk: izd-vo Kursk. GSKHA, 2020. – S. 360-364.

4. Sineokov G.N Diskovye rabochie organy pochvoobrabatyvayushchih mashin. – M.: Mashgiz, 1989. – 86 s.

5. Borodin N., Kirichenko A. Novyj pochvoobrabatyvayushchij agregat // Zemledelie. – 1982. – № 7. – S. 70-71.

6. Kuvajcev V.N. Mashiny i orudiya dlya obrabotki pochvy / V.N. Kuvajcev.-M.:Bibkom, 2013.-626 s.

7. Sednev N.A. Analiz raboty vrashchayushchihsya rabochih organov pri dvizhenii s tormozheniem. // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 1978. - № 10.- S. 18-19.

8. Kotel'nikov V.YA., Orlov V.M. Tekhnologicheskij raschet parametrov lunki pri rabote rotornyh mashin s passiv¬nym privodom. Sel'skohozyajstvennye ma¬shiny. Sb. nauchnyh trudov MIISP, t. II, vyp. I, chast' 2, M. - 1974.- S. 18-24.

9. Disko-zubovaya konicheskaya borona / Mazitov I.K., Malikov M.M., Gajnanov H.S., Denisov V.YA. [i dr.] // Zemledelie. – 1981. – № 3. – S. 58-60.

10. Tereshchenko I.O., Zykov V.A. Effektivnost' igol'chatoj borony-motygi. // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 1975. – № 2. – S. 9-11.

11. Sednev N.A. Energoemkost' processa obrabotki pochvy igol'chatymi diskami pri dvizhenii s zatormazhivaniem. // Traktory i sel'hozmashiny. – 1981. - № 3.- S. 16-17.

12. Goryachkin V.P. Sobranie sochinenij, t.1, izd. "Ko¬los", M., 1963, s.263.

13. Kotel'nikov V.YA., Semenov A.N., Orlov V.M. Kinematicheskij analiz raboty rotacionnyh rabochih organov s tormoznymi ustrojstvami. Sb. Konstruirovanie i tekhnologiya proizvodstva sel'skohozyajstvennyh mashin, № 5, Kiev, 1975, s. 7-11

14. Ziyazetdinov R.F. Issledovanie processov raboty agregatov s igol'chatymi diskami na obrabotke sel'hozkul'tur: dis …kand. tekhn. Nauk. – CHelyabinsk, 1985.

15. Sednev N.A. Kinematika igol'chatogo diska pri dvizhenii s zatormazhivaniem. // Trak-tory i sel'hozmashiny. – 1978.- № 10.- S.16-19.

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

Уварова Анна Георгиевна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, (e-mail: HYPERLINK "mailto:a.g.uvarova@yandex.ru"a.g.uvarova@yandex.ru)

Таныгин Олег Федорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: oftanygin@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

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

Uvarova Anna Georgievna - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: a.g.uvarova@yandex.ru

Tanygin Oleg Fedorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail:oftanygin@yandex.ru.

Lukin Sergey Gennadievich – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: gch.2013@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 631.343
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-49-56

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ В МЕТРОВОМ СЛОЕ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЕЁ ОБРАБОТКИ

[1]Киров Юрий Александрович
[1]Иванайский Сергей Александрович
[1]Афонин Александр Евгеньевич
[1]Иванайский Максим Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»

Реферат. *Цель исследований – оценка накопления влаги в метровом слое почвы при различных способах её обработки. В статье доказана возможность достаточно большого (до 30 процентов) уменьшения общего сопротивления почвообрабатывающих машин и глубокорыхлителей за счет использования вибрационных рабочих органов. Наибольший эффект был выявлен при выполнении почвообработки с вибрацией на небольших скоростях перемещения по полю. При этом было установлено, что совокупные затраты энергии с использованием активных глубокорыхлителей немного больше, чем во время работы пассивных рабочих органов. Одной из причин уменьшения тягового сопротивления различных видов вибрационных глубокорыхлителей является некоторые особенности траектории движения совершаемой во время работы. В статье также представлены некоторые результаты по определению объёма удерживаемой влаги в метровом слое почвы, расположенной на склоновых участках с различным уклоном и обработанной с помощью орудий, выполняющих различные виды основной обработки почвы. На основе результатов обработки, полученных расчетным путем, экспериментальных данных, были выполнены графики зависимости объёма удерживаемой влаги в метровом слое почвы от угла уклона участков в двух направлениях, при выполнении различных видов основной обработки почвы.*

Ключевые слова: *основная обработка почвы, склоновые земли, накопление влаги.*

THE RESULTS OF A COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE ACCUMULATION OF MOISTURE IN A METER LAYER OF SOIL AT VARIOUS STAGES OF ITS PROCESSING

[1]Kirov Yuri
[1]Ivanaysky Sergey
[1]Afonin Alexander
[1]Ivanaysky Maxim
[1]FGBOU VO "Samara State Agrarian University"

Abstract. *The purpose of the research is to assess the accumulation of moisture in a meter layer of soil with various methods of its processing. The article proves the possibility of a sufficiently large (up to 30 percent) reduction in the total resistance of tillage machines and deep-diggers due to the use of vibrating working bodies. The greatest effect was revealed when performing tillage with vibration at low speeds of movement across the field. At the same time, it was found that the total energy costs with the use of active deep heaters are slightly higher than during the operation of passive working bodies. One of the reasons for the reduction of the traction resistance of various types of vibration deep-throttlers is some features of the trajectory of movement performed during operation. The article also presents some results on determining the volume of retained moisture in a meter layer of soil located on sloping areas with different slopes and treated with tools performing various types of basic tillage. Based on the results of processing the experimental data obtained by calculation, graphs of the dependence of the volume of retained moisture in the meter layer of soil on the angle of slope of the plots in two directions, when performing various types of basic tillage, were performed.*

Keywords*: basic tillage, slope lands, moisture accumulation.*

Введение. При возделывании сельскохозяйственных культур до 40 процентов всех затрат приходится на основную обработку почвы, так как она является самой энергоемкой операцией из всех работ. Одной из важнейших задач при снижении себестоимости произведенной продукции является увеличение энергоэффективности при выполнении работ по подготовке почвы [1].

В условиях засушливого климата Самарской области существует необходимость применения операций, направленных на дополнительное накопление и сохранение влаги в почве в период вегетации возделываемых растений. В качестве одного из приемов, способствующих уменьшению водяных стоков на сложносклоновых участках и увеличению процесса впитывания влаги в почву используют обработку в поперечном направлении относительно имеющегося склона.

Цель исследований - оценка накопления влаги в метровом слое почвы при различных способах её обработки.

Задачи исследований: 1 - выполнить анализ действия сил почвы на участках траекторий движения активных почвоуглубителей; 2 - обосновать конструкцию глубокорыхлителя, обеспечивающего устойчивый ход орудия; 3 - выполнить графики зависимости накопительной способности метрового слоя почвы от размеров угла наклона обрабатываемого участка при помощи определенных агрегатов для основной обработки.

Материал и методы. Классификация основных способов подготовки поверхности почвы на полях расположенных на сложных склонах может выглядеть следующим образом:

1. Удаление неровностей на полях, формирование рельефа в виде террас поперек склона с разравниванием возвышенностей и уклонов.

2. Повышение влагопоглотительных свойств почвы за счет использования обработки без оборота пласта, поделки лунок, формирования щелей, обработки с оборотом пласта и выполнением почвоуглубительных борозд в подпахотном горизонте.

3. Сбор влаги внутри сформированных уступов на поверхности склоновых участков при помощи плугов для ступенчатой вспашки, обработки и поделки гребней поперек имеющегося склона, выполнением специальных широких гребней при противоэрозионной обработке.

4. Уменьшение скорости стекания жидкости вниз по направлению склона путем распределения перемещения осадковых потоков. Наиболее часто в таких обработках предусматривают распределение соломистой части не зерновой части урожая по поверхности поля. В связи с вышеизложенным, орудия для основной обработки сложносклоновых участков, кроме качественного рыхления и перемешивания обрабатываемого слоя почвы, с формированием благоприятных условия для роста культурных растений обязаны способствовать распределению и впитыванию почвой влаги в течении всего периода вегетации возделываемых культур [2].

Результаты и их обсуждение. Применение основной обработки с оборотом пласта и формированием почвоуглубительной борозды без изменения рельефа поверхности полей является более выгодной обработкой, с экономической составляющей, относительно известных способов обработки сложных склонов.

Во время работы комбинированного агрегата, включающего в свою конструкцию серийный плуг и активный почвоуглубитель происходит выполнение нескольких операций, что позволяет уменьшить затраты энергии на обработку полей и снизить негативное воздействие ходовой части трактора на почву.

В соответствии с агротехническими требованиями движение пахотного агрегата при обработке склоновых участков необходимо выполнять поперек имеющегося склона так как в этом случае будет обеспечено снижение потока воды вниз по склону как по поверхности, так и внутри почвы обрабатываемого участка. С учетом того, что на сложных склонах направление основного склона, при движении по полю, постоянно меняет свое направление, возникает необходимость формирования почвоуглубительной борозды в виде симметричной зигзагообразной линии, расположенной в подпахотном горизонте. Подобные борозды синусоидальной формы можно сформировать при условии сложения прямолинейного движения агрегата с колебаниями активных почвоуглубителей в поперечном направлении. Это позволит получить постоянное расположение траектории перемещения активных рабочих органов, под определенным постоянно изменяющимся углом, относительно направления результирующей сложного склона.

Данная технология может быть реализована при помощи комбинированного агрегата, включающего в свою конструкцию серийный плуг и активные почвоуглубители, смонтированные за плужными корпусами [3,4].

Исследованиями, выполненными в России и за рубежом, было установлено, что использование активных рабочих органов позволяет снизить на треть тяговое сопротивление пахотных агрегатов и почвоуглубителей.

Наибольший эффект был выявлен при выполнении почвообработки с вибрацией на небольших скоростях перемещения по полю. При этом было установлено, что совокупные затраты энергии с использованием активных глубокорыхлителей немного больше, чем во время работы пассивных рабочих органов. Одной из причин уменьшения тягового сопротивления различных видов вибрационных глубокорыхлителей является некоторые особенности траектории движения совершаемой во время работы [5,6].

В соответствии с установленной кинематики перемещения активных глубокорыхлителей они, совершая прямолинейное движение с плугом выполняют периодичное перемещение в поперечной плоскости (рисунок 1).

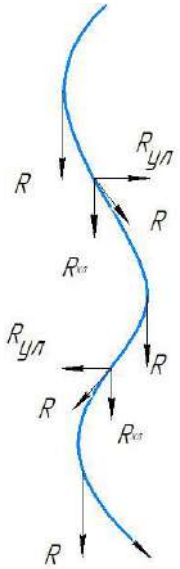


Рисунок 1 – Направление действия реакции почвы в отдельных точках перемещения активных почвоуглубителей.

Приняв допущение, что скорость не оказывает влияния на величину реакция почвы R при перемещении во время работы активного глубокорыхлителя, а значит он имеет одинаковое сопротивление, то в любой точке траектории движения сила сопротивления будет постоянной. Постоянное направление долотообразного рабочего органа против движения обеспечивает шарнирное соединение со стойкой. При этом направление результирующей силы R будет располагаться в противоположном направлении движению глубокорыхлителя и по касательной относительно траектории движения [7].

На рисунке 1 показано, что результирующая сила, воздействующая на долото в основном больше усилия горизонтальной составляющей этой силы располагающейся по направлению движения агрегата. По этой причине происходит снижение тягового усилия во время работы активных глубокорыхлителей. Одновременно с этим можно увидеть, что, при перемещении в поперечном направлении неизбежно происходит расход дополнительной мощности на преодоление сопротивления почвы при боковом смещении активных почвоуглубителей.

Выполнение почвоуглубительной зигзагообразной борозды, формируемой активным рабочим органом, позволяет получить более длинную борозду на одном проходе агрегата, что дает прирост влагоемкости взрыхляемого объема почвы.

Заглубление долот активных рабочих органов на уровень ниже пахотного горизонта способствует более устойчивому положению агрегата в вертикальной плоскости во время работы. Так

как на устойчивость в горизонтальной плоскости большое влияние оказывает расположение линии тяги агрегата необходимо устанавливать почвоуглубители со смещением вправо относительно следа центра тяжести пахотного агрегата. Это будет способствовать снижению тягового сопротивления агрегата за счет уменьшения давления и силы трения полевых досок о стенку борозды.

Активный рабочий орган в нашем случае должен быть установлен на шарнирном соединении (рисунок 2), чтобы во время работы иметь направление строго по ходу сложного зигзагообразного движения, а также быть оснащен сменным долотом. Первое позволит сохранять постоянное лобовое сопротивление, а сменное долото поможет избежать повышения тягового сопротивления и роста выглубляющей силы при образовании затылочной фаски от износа нижней кромки рабочего органа.

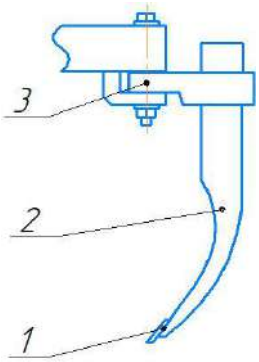


Рисунок 2 – Глубокорыхлитель с возможностью самоустановки:
1 – сменное долото; 2 - держатель; 3 - шарнир.

В процессе дальнейших исследований ставилась задача выявить рациональное соотношение между амплитудой и частотой колебаний активного рабочего органа с целью выявления максимальной влагонакопительной способности поделанных борозд с минимальными затратами тягового сопротивления исследуемого орудия.

Влагосберегающая обработка почвы является частью комплексных мер по защите почв от эрозионных процессов, обусловленных многочисленными факторами, имеющими решающее значение на интенсивность их протекания. В многочисленных работах [8,9,10,11,12] указано на то, что отдельные компоненты почвозащитной технологии должны быть увязаны между собой и дополнять систему земледелия, применяемую при возделывании культурных растений. Используемые системы обработки склоновых полей должны способствовать предотвращению эрозионных процессов, создавать хорошие условия для роста и развития растений, сохранять и улучшать плодородие и структуру почвы. Если в неблагоприятные периоды происходит недостаточное увлажнение почвы операции по обработке склоновых участков должны быть направлены на увеличение влагоудерживающей способности почвы путем формирования временных неровностях, а также способности к уменьшению размыва и понижения интенсивности стекания воды по склону. Технологические операции способные показать свою эффективность сразу после их применения отдают предпочтение и рекомендуют к применению в первую очередь.

В результате проведенных исследований был спроектирован и изготовлен экспериментальный образец комбинированного агрегата для основной обработки почвы оснащенный активными глубокорыхлителями, который позволил обосновать параметры работы и геометрические размеры долотообразного рыхлителя. Исследования проводили на участке поля с типичными для нашего региона характеристиками имеющего слабовыраженный микрорельеф, мелкокомковатую структуру и среднесуглинистый, обыкновенный тип чернозема. В качестве предшественника выступил ячмень, а средняя твердость почвы в обрабатываемом слое почвы была 1,7 МПа при этом влажность составляла 23,1%. Оценка количества влаги, накопленной в почве после обработки известными орудиями и экспериментальным образцом выполняли на четырех сложных склонах с различными уклонами как в продольно так и во поперечном направлении соответственно: 0 и 0, 2 и 2, 4 и 2, 6 и 2 градуса.

Во время проведения экспериментов выполняли пять обработок поверхности участков с помощью различных орудий:

1) Вспашка плугом оснащенным культурными отвалами и углоснимами на глубину 0,27 м.

2) Вспашка плугом оснащенным культурными отвалами и углоснимами на глубину 0,25 м и рыхление почвоуглубителем на глубину 0,2 м с поделкой лент на расстоянии 1,4 м.

3) Вспашка плугом оснащенным культурными отвалами и углоснимами, а также формированием зигзагообразных борозд на глубину соответственно: вспашка 0,25 м и почвоуглубление - 0,2 м.

4) Вспашка плугом оснащенным культурными отвалами и углоснимами, а также формированием прямолинейных борозд за каждым корпусом на глубину соответственно: вспашка 0,25 м и почвоуглубление - 0,2 м.

5) Обработка почвы чизельными рабочими органами на глубину 0,4 м.

Опыты были проведены в конце августа на сложносклоновых участках с трехкратной повторностью на каждой операции основной обработки, площадь делянок составляла 600 м^2.

Забор пробы для определения объемной массы и влажности почвы на участках обработанных различными способами выполняли на глубину 1 метр с шагом по глубине 0,1 м по диагоналям участков в десятикратной повторности. Во время отбора проб для определения объемной массы почвы на различных уровнях применяли стандартную методику [3]. Данные, собранные в процессе выполнения опытов по влажности и объемной массе почвы на различных уровнях, легли в основу расчетов количества влаги, накопленной в метровом слое за осенне - весенний период на различных обработках.

Определение искомого показателя выполняли по выражению [13]:

$$P = W \cdot d \cdot h \cdot 100 \quad (1)$$

где P – накопленная влага, кг/га; W - влажность почвы на определенном уровне, %; d - объемный вес исследуемого уровня почвы, кг/м^3; h - глубина взятия проб, м; 100 – коэффициент для пересчета площади делянки к процентам, м^2 /%.

На основе результатов проведенных расчетов были выполнены графики, показывающие зависимость изменения величины накопленной влаги в метровом слое почвы от размеров продольного и поперечного склона участков обрабатываемых при помощи различных орудий для основной обработки почвы (рисунок 3).

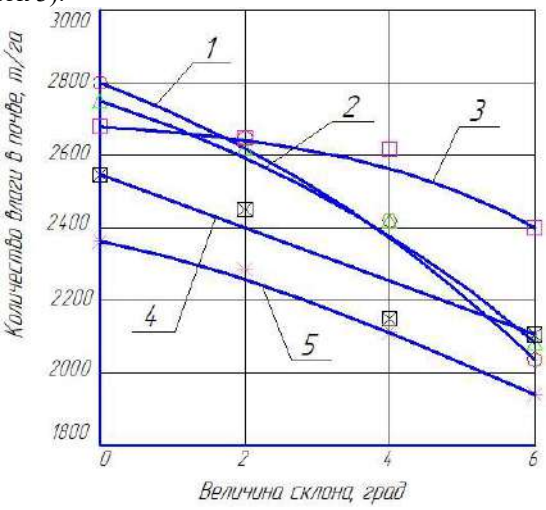


Рисунок 3 - Изменения величины накопленной влаги в метровом слое почвы от размеров продольного и поперечного склона участков обрабатываемых при помощи различных орудий для основной обработки почвы.

На графической сетке нанесено пять графических кривых, описываемых различными уравнениями регрессии, которые были определены по экспериментальным данным полученных в зависимости от вида обработки:

1 - графическая кривая по 5 варианту обработки, уравнение регрессии $Y=2800-38{,}2x-14{,}4x^2$, достоверность аппроксимации $R^2 = 0{,}999$;

2 - графическая кривая по 4 варианту обработки, уравнение регрессии $Y=2770-22,5x-15,6x^2$, достоверность аппроксимации $R^2 = 0.999$;

3 - графическая кривая по 3 варианту обработки, уравнение регрессии $Y=2690+15,7x-10,4x^2$, достоверность аппроксимации $R^2 = 0,973$;

4 - графическая кривая по 2 варианту обработки, уравнение регрессии $Y=2570-96,8x$, достоверность аппроксимации $R^2 = 0,963$;

5 - графическая кривая по 1 варианту обработки, уравнение регрессии $Y=2370-38,9x-5,4x^2$, достоверность аппроксимации $R^2 = 0,995$.

Исходя из анализа полученных зависимостей было установлен, что при различных обработках накопление влаги в метровом слое происходит по-разному и зависит от наличия и величины изменения крутизны склонов на участках. При чезелевании ровных участков количество влаги в почве будет максимальным и будет составлять 2800 т/га. Полученный эффект получен за счет уменьшения объемной массы и вспушивания почвы на глубину обработки 0,4 метра, а значит увеличения влагопроводимости этого слоя в низлежащие слои. В то же время при увеличении до максимального размера крутизны склонового участка подобная обработка уступает некоторым способам в том числе и сплошному почвоуглублению так как неровное дно, формируемое почвоуглубителями, сокращает внутрипочвенный сток воды по склону. Культурная вспашка имеет самые низкие показатели по накоплению влаги при наличии любой величины склона. Самым оптимальным способом для обработки равномерных участков является почвоуглубление в виде отдельных разрыхленных лент, так как здесь происходит максимальное накопление влаги на фоне минимально разрыхленной почвы, однако он почти не отличается от культурной пахоты при максимальном уклоне делянки. Что касается волнообразного почвоуглубления оно не имеет преимуществ перед чизелеванием и вспашкой со сплошным почвоуглублением на ровных участках и показывает преимущество на величине склона от 1,5 до 6 градусов перед всеми видами обработки.

Выводы. Разработанный способ обработки сложносклоновых участков обладает определенным преимуществом по сравнению с выбранными вариантами для проведения исследований. При наличии склона с показателями основного уклона в 2 градуса, а второстепенного 6 градусов вспашка с волнообразным почвоуглублением имеет преимущество по сравнению с другими видами обработки на сложных склонах. Предлагаемая обработка с помощью активных почвоуглубителей, в зависимости от величины уклона от 2 до 6 градусов обеспечивает наличие влаги в метровом слое от 2410 до 2690 $м^3$/га, что превосходит обработку в виде культурной вспашки на 25 %.

Список литературы

1. Вилде, А.А. Комбинированные почвообрабатывающие машины /А.А. Вилде, А.Х. Цесниекс, Ю.П. Моритис [и др.]. – Л.: Агропромиздат, – 2010. -128 с.

2. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний: национальный стандарт Российской Федерации. – Москва. : Стандартинформ, 2016. - 46 с.

3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

4. Иванайский, С.А. Разработка комбинированного активного рабочего органа. / С.А.Иванайский, М.А. Канаев, М.С. Иванайский // В сборнике: Инновационные достижения науки и техники АПК. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 386-389.

5. Парфенов, О.М. Использование механических колебательных систем в почвообрабатывающих машинах. / О.М. Парфенов, С.А. Иванайский, В.В. Переверзов // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. – 2009. - №3. – С.14-16.

6. Petrov, A.M. JUSTIFICATION OF OPTIMAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF NEEDLE DISCS OF THE COMBINED WORKING BODY A.M. Petrov, S.A. Ivanayskiy., M.A. Kanaev, [et al.] // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). - 2020. - P. 00016.

7. Petrov, A.M. TECHNICAL DEVICES USED FOR DIFFERENTIAL FERTILIZER APPLICATION. / A.M. Petrov, M.A. Kanaev, V.A. Kirov, [et al.] // BIO Web of Confereces. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). - 2020. - P. 00015.

8. Савельев, Ю.А. Обоснование кинематических параметров тягово-приводного почвообрабатывающего орудия. / Ю.А. Савельев, А.М. Петров, П.А. Ишкин, М.А. Петров, Д.А. Авдеев // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. - №1 (49). – С. 47-52.

9. Савельев, Ю.А. Тягово-приводное орудие для энергоэффективной обработки почвы. / Ю.А. Савельев, А.М. Петров, П.А. Ишкин, М.А. Петров // В сборнике: Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры. Научные труды международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию аграрной наук образования и просвещения в Среднем Поволжье. - 2019. – С. 309-313.

10. Савельев, Ю. А. Снижение потерь почвенной влаги на испарение / Ю. А. Савельев, О. Н. Кухарев, Н. П. Ларюшин [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 42-47.

11. Савельев, Ю. А. Теоретическое исследование водного баланса почвы и процесса испарения почвенной влаги / Ю. А. Савельев, Ю. М. Добрынин, П. А. Ишкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 1. – С. 23-28.

12. Савельев, Ю. А. Обоснование формы игл ротационных рабочих органов тягово-приводного почвообрабатывающего орудия / Ю. А. Савельев, А. М. Петров, П. А. Ишкин, М. А. Петров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 20-28.

Тарасенко, Б.Ф. Противоэрозионное полифункциональное конструктивно-технологическое средство для обработки почвы. / Б.Ф. Тарасенко, С.В. Оськин, А.В. Бондарчук // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2007. - №1(29). – С.132-139.

References

1. Vilde, A.A. Combined tillage machines /A.A. Vilde, A.H. Tsesnieks, Yu.P. Moritis [et al.]. - L.: Agropromizdat, - 2010. -128 p.

2. GOST 33687-2015. Machines and implements for surface tillage. Test methods : national standard of the Russian Federation. - Moscow. : Standartinform, 2016. - 46 p.

3. Dospekhov, B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). - 5th ed., supplement and revision - M. : Agropromizdat, 1985. - 351 p.

4. Ivanaysky, S.A. Development of a combined active working organ. / S.A.Ivanaysky, M.A. Kanaev, M.S. Ivanaysky // In the collection: Innovative achievements of science and technology of agriculture. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference. - 2019. - P. 386-389.

5. Parfenov, O. M. the Use of mechanical vibrating systems in tillage machines. / O. M. Parfenov, S. A. iwanicki, V. V. Pereverzev // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2009. - No. 3. – P. 14-16.

6. Petrov, A.M. SUBSTANTIATION OF OPTIMAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF NEEDLE DISKS OF A COMBINED WORKING ORGAN A.M.Petrov, S.A.Ivanaysky, M.A.Kanaev [et al.]// BIO Web conference. International scientific-practical conference “Agriculture and food security: technology, innovation, markets, human resources” (FIES 2019). - 2020. - S. 00016.

7. Petrov, A. M. TECHNICAL DEVICES USED FOR variable rate application of FERTILIZERS. / A. M. Petrov, M. A. Kanaev, V. A. Kirov [et al.]// Web conference BIO. International scientific-practical conference “Agriculture and food security: technology, innovation, markets, human resources” (FIES 2019). - 2020. - S. 00015.

8. Savel'ev, Yu. a. justification of the kinematic parameters of the traction-driven tillage operation. / Y. A. Savel'ev, A. M. Petrov, P. A. Eskin, M. A. Petrov, D. A. Avdeev // Bulletin of agricultural science of the don. – 2020. - №1 (49). – Pp. 47-52.

9. Savelyev, Yu.A. Traction-drive tool for energy-efficient tillage. / Yu.A. Savelyev, A.M. Petrov, P.A. Ishkin, M.A. Petrov // In the collection: Agriculture and food security: technologies, innovations, markets, personnel. Scientific papers of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the agrarian sciences of education and enlightenment in the Middle Volga region. - 2019. - pp. 309-313.

10. Savelyev, Yu. A. Reduction of soil moisture losses by evaporation / Yu. A. Savelyev, O. N. Kukharev, N. P. Laryushin [et al.] // Agricultural machines and technologies. - 2018. - Vol. 12, No. 1. - pp. 42-47.

11. Savelyev, Yu. A. Theoretical study of the water balance of the soil and the process of evaporation of soil moisture / Yu. A. Savelyev, Yu. M. Dobrynin, P. A. Ishkin // Agricultural machines and technologies. - 2017. - No. 1. - pp. 23-28.

12. Savel'ev, Yu. a. Justification of the form of needles rotary working bodies traction-driven soil-cultivating tools / Y. A. Savel'ev, A. M. Petrov, P. A. Eskin, M. A. Petrov // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2019. – No. 4. – P. 20-28.

13. Tarasenko, V. F. Erosion control multifunctional technological tool for tillage. / B. F. Tarasenko, S. V. Soboleva, A. V. Bondarchuk // Emergency: industrial and environmental safety. – 2007. - №1(29). – Pp.132-139.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Киров Юрий Александрович - доктор технических наук, доцент, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, e-mail: kirov.62@mail.ru.

Иванайский Сергей Александрович - кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, e-mail: isa.7777@inbox.ru.

Афонин Александр Евгеньевич - кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, e-mail: imssaa@mail.ru.

Иванайский Максим Сергеевич - аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, e-mail: isa.7777@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Kirov Yuri - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University", Samara Region, village, Russia, Ust-Kinelsky, e-mail: kirov.62@mail.ru.

Ivanaisky Sergey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University", Samara Region, village, Russia, Ust-Kinelsky, e-mail: isa.7777@inbox.ru.

Afonin Alexander - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University", Samara Region, village, Russia, Ust-Kinelsky, e-mail: imssaa@mail.ru.

Ivanaisky Maxim - postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Agrarian University", Samara Region, village, Russia, Ust-Kinelsky, e-mail: isa.7777@inbox.ru

Поступила в редакцию (Received): 06.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 631.362.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-56-67

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГРАВИТАЦИОННОГО ПРИЕМНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С ВИБРОКЛАПАНОМ

[1]Чернышов Алексей Викторович

[1]*Оробинский Владимир Иванович*
[1]*Гиевский Алексей Михайлович*
[1]*Баскаков Иван Васильевич*
[1]*Подорванов Данил Алексеевич*
[1]*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»*

Реферат. *Приведен анализ конструкций воздушно-решетчатых сепараторов. Рассмотрен гравитационный распределитель с виброклапаном, который монтируются отдельным модулем на сепараторе перед воздушной очисткой, составные части взаимозаменяемы, соединены при помощи болтов. Выявлены достоинства гравитационного распределителя с виброклапаном: равномерность распределения зернового вороха по ширине воздушного канала за счет наклонных поверхностей в конструкции; полнота выделения компонентов вороха за счет расслоения по плотности; отсутствие подвижных вращающихся частей, которые взаимодействуют с зерном, что важно для качественной работы пневмосистем зерноочистительных машин. Установлено, что работа приемно-распределительного устройства вибрационного типа зерноочистительной машины определяется параметрами системы «виброклапан-зерновой ворох». Цель работы - теоретические исследования работы виброклапана приемно-распределительного устройства при различных его режимах. Рассмотрены силы, действующие на частицу, движущуюся по поверхности виброклапана. Определено, что перемещение частиц зернового вороха в устройстве является прямолинейным относительным движением на колеблющейся плоскости. Выделено три этапа перемещения: первый этап – скольжение вперед и назад; второй этап – отрыв и полет; третий этап – относительный покой. Проведенные теоретические исследования режимов работы вибрационной поверхности гравитационного распределителя показали, что перемещение зерновой массы происходит лишь в направлении её уклона относительно горизонтали. При этом рациональные конструктивные и кинематические параметры виброклапана такие, как радиус и частота вращения эксцентрика, а также угол наклона вибрационной поверхности, которые соответственно составляли r=0,003 м, ω=140 мин$^{-1}$ и α=25°, позволяет исключить режим «подбрасывания».*

Ключевые слова: *зерноочистительная машина, виброклапан, приемно-распределительное устройство, питающее устройство, зерновой ворох, расслоение зернового вороха по плотности.*

Благодарности: *работа выполнена при поддержке и по заказу Минсельхоза России согласно тематическому плану-заданию научно-исследовательских работ за счёт средств федерального бюджета, регистрационный номер № НИОКТР АААА-А20-120072990002-8.*

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODE OF THE GRAVITATIONAL RECEIVING DISTRIBUTOR WITH VIBROVALVE

[1]***Chernyshov Alexey***
[1]***Orobinsky Vladimir***
[1]***Gievsky Alexey***
[1]***Baskakov Ivan***
[1]***Podorvanov Danil***
[1]*FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»*

Abstract. *An analysis of the designs of air-lattice separators is presented. A gravitational distributor with a vibration valve is considered, which is mounted as a separate module on the separator before air cleaning, the components are interchangeable, connected with bolts. The advantages of a gravitational distributor with a vibro-valve are revealed: uniform distribution of the grain heap along the width of the air channel due to inclined surfaces in the design; completeness of the selection of the components of the heap due to stratification by density; the absence of moving rotating parts that interact with the grain, which is important for the high-quality operation of the pneumatic systems of grain cleaning machines. It has been established that the operation of the receiving and distributing device of the vibration type of the grain cleaning machine is determined by the parameters of the "vibrovalve-grain heap" system. The purpose of the work is theoretical studies of the operation of the vibration valve of the receiving and distribution device under its various modes. The forces acting on a particle moving along the surface of the vi-*

brovalve are considered. It has been determined that the movement of the grain heap particles in the device is a rectilinear relative movement on an oscillating plane. There are three stages of movement: the first stage - sliding forward and backward; second stage - take off and flight; the third stage is relative peace. Theoretical studies of the modes of operation of the vibrating surface of the gravity distributor have shown that the movement of the grain mass occurs only in the direction of its slope relative to the horizontal. At the same time, rational design and kinematic parameters of the vibrating valve, such as the radius and rotation frequency of the eccentric, as well as the angle of inclination of the vibrating surface, which respectively were r = 0.003 m, ω = 140 min^{-1} and α = 25°, make it possible to exclude the "tossing" mode.

***Keywords**: grain cleaning machine, vibrating valve, receiving and distributing device, feeding device, grain heap, grain heap stratification by density.*

***Acknowledgements**: the work was carried out with the support and by order of the Ministry of Agriculture of Russia according to the thematic plan-task of research works at the expense of the federal budget, registration number No. R&D AAAAA-A20-120072990002-8.*

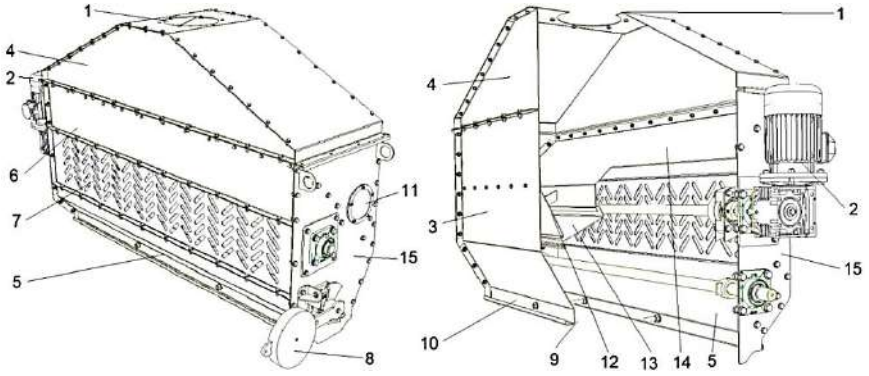
Введение. Современные универсальные воздушно-решетные сепараторы оснащаются питающими устройствами без рабочих органов, таких как шнеки, различного рода скребковые и лопастные конструкции травмирующие семена [1-5]. В настоящее время наблюдается следующая тенденция, при которой на зерноочистительных машинах с рабочей шириной менее 1,0 м в качестве питающего распределительного устройства устанавливают гравитационный распределитель, а при рабочей ширине более 1,0 м – дополнительно питающий валик или виброклапан. Последние устройства применяются фирмами «Westrup» (Дания), «Cimbria» (Германия), «Buhler» (Швейцария), «Воронежсельмаш» (Россия) [1-2, 6-7].

Одним из узлов зерноочистительной машины СВС–30 [8] является гравитационный распределитель с виброклапаном. Он монтируются отдельным модулем на сепараторе перед воздушной очисткой непосредственно по месту установки сепаратора. Рассматриваемое приемно-распределительное устройство является гравитационным, в нем установлены наклонные поверхности, в том числе и вибрационные посредством которых комбайновый ворох равномерно распределяется по его ширине и далее по каналу дорешетной очистки, а его производительность регулируется посредством грузового клапана [9].

Равномерность распределения зернового вороха по ширине воздушного канала непосредственно влияет на качественные показатели работы пневмосистемы и решетной очистки, в частности на полноту выделения компонентов вороха [1-2, 10-14]. У таких устройств есть одно неоспоримое преимущество это отсутствие подвижных вращающихся частей, которые взаимодействуют с зерном [7]. Также в виброподающих наклонных устройствах наблюдается расслоение компонентов вороха по плотности, что важно для качественной работы пневмосистем зерноочистительных машин [12-14].

Материалы и методы

Общий вид приемно-распределительного устройства приведен на рисунке 1. Конструкция составных частей приемного гравитационного распределителя предполагает их соединение при помощи болтовых соединений, каждая из которых в случае поломки может быть оперативно заменена. Приемно-распределительное устройство состоит из приемного кожуха *4* в верхней части которого, расположено загрузочное окно *1*, корпуса, выполненного в виде прямоугольного параллелепипеда усеченного в его нижней части и ограниченного боковыми стенками *15*, передней *5* и нижней частью передней стенки *10*, а также задними верхней *6*, нижней *5* и с воздухозаборными окнами *7* стенками, кроме того внутри смонтированы направляющий щиток.*12*, вибро- н гравитационный распределитель *13* и *8*. Боковые стенки *15* оснащены смотровыми окнами *11*. Для привода виброклапана на гравитационный распределитель монтируется мотор-редуктор *2*. При дальнейшем рассмотрении режимов работы устройства предполагается, что его установленная мощность на валу мотор-редуктора равна 0,55 кВт, а его частота вращения 140 мин $^{-1}$.



а) б)

Рисунок 1 – Общий вид приемно-распределительного устройства: а) вид сзади; б) вид спереди:
1 – загрузочное окно; 2 – мотор-редуктор привода вала эксцентриков; 3 – передняя стенка корпуса; 4 – приемный кожух; 5 – нижняя часть задней стенки корпуса; 6 – верхняя часть задней стенки корпуса; 7 – задняя стенка с воздухозаборными окнами; 8 – гравитационный распределитель; 9 – выгрузное окно; 10 – нижняя часть передней стенки корпуса; 11 – смотровое окно; 12 – передний направляющий щиток; 13 – виброклапан; 14 – задний направляющий щиток; 15 – боковые стенки кожуха

Общий вид виброклапана приемно-распределительного устройства представлен на рисунке 2.

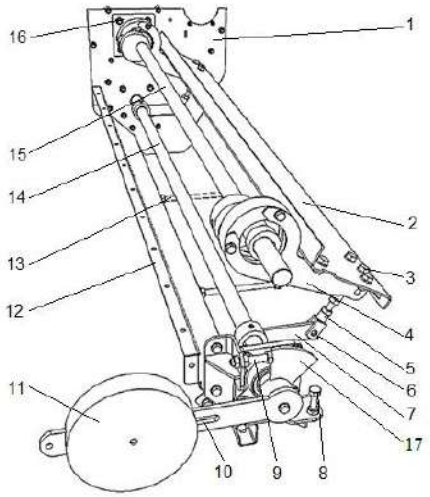


Рисунок 2 – Общий вид виброклапана приемно-распределительного устройства: 1 – боковая стенка приемно-распределительного устройства; 2 – поверхность виброклапана; 3 – крепеж виброклапана к рычагам; 4 – рычаг виброклапана; 5 – тяги; 6 – ось рычага вала грузового клапана; 7 – рычаг вала грузового клапана для связи с тягой; 8, 9 – ограничительные болты; 10 – рычаг для перемещения груза; 11 – груз; 12 – нижняя задняя стенка приемно-распределительного устройства; 13 – стяжки передней и задней стенок; 14 – вал грузового клапана; 15 – эксцентриковый вал; 16 – подшипниковый узел эксцентрикового вала, 17 – упор

Валы вибрационного *15* и грузового *14* клапанов закрепляются на боковинах *1* корпуса приемно-распределительного устройства при помощи подшипниковых узлов *16*.

Рычаг вала грузового клапана *7* при помощи оси *6* соединен с тягой *5* и далее с рычагом виброклапана *4*. На валу *14* грузового клапана установлен рычаг для перемещения груза *10* в пазу, которого перемещается груз *11*. Изменение зазора в виброклапане осуществляется следующим

образом. Поверхность виброклапана *2* с его рычагом *4* совершает возвратно-поступательные движения относительно подшипниковых узлов эксцентрикового вала *16,* при этом амплитуда перемещения составляет 0,006 м. Рычаг виброклапана *4* при помощи осей *6* и тяги *5* шарнирно соединен с рычагом вала грузового клапана 7, жестко фиксированного на валу *14*. Необходимый зазор между нижним краем поверхности виброклапана *2* и задним направляющим щитком *14* (рисунок 1) для прохода зернового материала из выгрузного окна *9* (рисунок 1) в воздушный канал зерноочистительной машины достигается из-за поворота вала *14* и ограничивается болтами *8* и *9* посредством упора *17*. Вращение вала *14* происходит из-за возникающего на нем дисбаланса крутящего момента посредством изменения положения груза *11* по пазу рычага *10* и силы тяжести комбайнового вороха действующего на поверхность виброклапана *2* предающейся посредством системы тяг на рычаг грузового клапана. Перестановка груза *11* в сторону от задней стенки приемно-распределительного устройства по пазу рычага *10* приводит к повороту вала *14* против вращения часовой стрелки и далее через рычаги *4, 7* посредством тяги *5* обеспечивают перемещение вибрационной поверхности в сторону уменьшения зазора. В случае, когда груз *11* перемещают ближе к гравитационному распределителю, зазор увеличивается. Максимальную величину зазора можно регулировать перемещением ограничительных болтов *8* и *9*.

Приемно-распределительное устройство работает следующим образом. Зерновой материал, подлежащий послеуборочной обработке, подается в устройство через загрузочное окно *1* (рис. 1) и далее по направляющему щитку *14* (рис. 1) под действием силы тяжести ворох перемещается на поверхность виброклапана *2* (рис.2). Поверхность виброклапана *2* (рис.2) расположена под постоянным углом относительно горизонтали и колеблется с постоянной частотой и амплитудой. Растекающийся по поверхности частицы под действием сил тяжести и инерции перемещаются в зазор образованный направляющей пластиной *12* (рисунок 1) и поверхностью виброклапана *2* (рисунок 2) в выгрузное окно *9* (рисунок 1) в пневмосепарирующий канал зерноочистительной машины.

Целью работы является теоретические исследования работы виброклапана приемно-распределительного устройства при различных режимах его работы.

Работа приемно-распределительного устройства вибрационного типа зерноочистительной машины в рассматриваемом случае должна определяться параметрами системы «виброклапан-зерновой ворох». В устройстве перемещение частиц входящих в состав зернового вороха является прямолинейным относительным движением на колеблющейся плоскости. В общем виде можно выделить три этапа перемещения: первый этап – скольжение вперед и назад; второй этап – отрыв и полет; третий этап – относительный покой. Последовательность и наличие вышеприведенных этапов зависит от устройств и технических характеристик виброклапана, так к ним можно отнести среднюю скорость перемещения за период *T* колебаний плоскости [15].

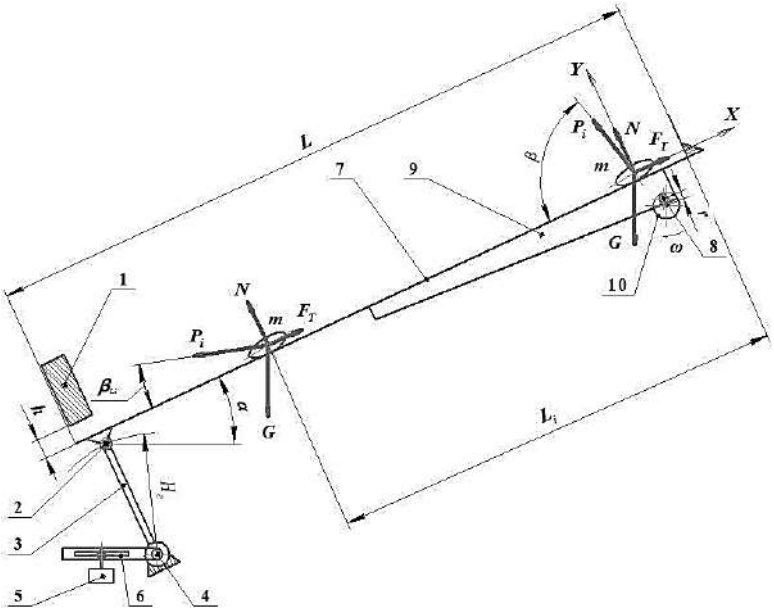
На рисунке 3 представлена схема для оценки функционирования виброклапана. В месте подачи зернового материала на поверхность виброклапана *7* частицы могут, двигаются как в направлении оси *X* так и в направлении оси *Y*, благодаря вращению эксцентрикового вала *10* закреплённого посредством оси *8* на его рычаге *9*. Центробежная сила инерции P_i, возникающая от вращения эксцентрикового вала *10* направлена в сторону эксцентриситета, при этом угол направления колебаний β будет равен углу между её вектором и поверхностью виброклапана. Амплитуда колебаний верхней части поверхности виброклапана по оси *X* и оси *Y* составляет $A = 2 \cdot r$ (м). Расстояние между направляющей поверхностью *7* и направляющей пластиной *h* изменятся посредством перемещения тяги грузового клапана *3* на вале *4* в зависимости от места установки груза *5* на рычаге *6*. Амплитуда перемещений поверхности виброклапан в направлении оси *Y* снижается до минимальных значений по мере удаления от эксцентрикового вала.

Результаты и их обсуждение

На частицу, движущуюся по поверхности виброклапана, действуют силы, К ним можно отнести силу тяжести *G*, центробежную силу инерции P_i, силу трения F_T и нормальная реакция со стороны поверхности виброклапана *N*.

Сила тяжести *G* определяется исходя из выражения 1.

$$G = m \cdot g, \text{ Н.} \quad (1)$$



N – реакция со стороны поверхности виброклапана, Н; *G* – сила тяжести, Н; P_i – центробежная сила инерции от эксцентрикового вала, Н; F_T – сила трения, Н; *r* – радиус эксцентрика, м; *h* – расстояние между направляющей пластиной и плоскостью колебаний, м; *m* – масса частицы кг; *L* – длина поверхности вибрации, м; L_i – расстояние от начала движения частицы до его нахождения на поверхности вибрации, м; H_c – радиус качения в направлении оси *Y*, м; *α* – угол между плоскостью колебаний и горизонталью; *β* – угол направления колебаний, град; β_{Li} – угол направления колебаний при его нахождения на поверхности вибрации, град; *ω* – угловая скорость эксцентрикового вала, $с^{-1}$

Рисунок 3 – Расчетная схема для оценки функционирования виброклапана:
1 – передний направляющий щиток; 2, 8 – ось крепления; 3 – тяга; 4 – вал грузового клапана; 5 – груз; 6, 9 – рычаги; 7 – поверхность виброклапана; 10 – эксцентриковый вал

Центробежную силу инерции P_i, возникающую от вращения эксцентрикового вала можно вычислить по выражению 2.

$$P_i = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t), \text{ Н}; \quad (2)$$

Из выражения 3 определим силу трения F_T зерновки о вибрационную поверхность

$$F_T = N \cdot f = N \cdot tg\varphi, \text{ Н}, \quad (3)$$

где *f* – коэффициент трения зерновки.

Коэффициент рения *f* можно установить исходя из значений угла внешнего (внутреннего) трения *φ*. Угол внешнего трения в зерновой массе может меняться в пределах *φ*=10-32º [18].

Силу реакции вибрационной поверхности согласно рисунку 3 можно выразить следующим образом

$$N = G \cdot \cos\alpha - P_i \cdot \sin\beta, \text{ Н},$$

где *α* – угол наклона вибрационной поверхности, град *α*=25°. Это выражение можно выразить как

$$N = m \cdot g \cdot \cos\alpha - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin\beta, \text{ Н}, \quad (4)$$

где *β* – угол направления колебаний, относительно вибрационной поверхности, в дальнейших расчётах принимаем, что *β*=90°; *r* – радиус эксцентрика 0,003 м; *ω* – угловая скорость эксцентрикового вала, $с^{-1}$, принимаем *ω*=14,6 $с^{-1}$ при частоте вращения *n*=140 $мин^{-1}$; *α* – угол между вибрационной поверхностью и горизонтальной плоскостью, согласно конструктивным параметрам приемно-распределительного устройства принимаем, что *α*=25°.

Амплитуда колебаний вибрационной поверхности определяется исходя из выражения 5

$$A = r \cdot (1 - \cos(\omega \cdot t)), \text{ м.} \quad (5)$$

Конструктивные особенности гравитационного распределителя позволяют верхней части вибрационной поверхности выполнять колебания, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости соответственно по осям *X* и *Y*. Зона схода зернового материала с виброклапана перемещается только по оси *X* (S_x). Показатель S_x можно определить по выражению (6) исходя из перемещения по оси *X* от среднего положения:

$$S_x = \frac{A}{2} = \text{r}, \text{ м.} \quad (6)$$

Величина перемещения зерновки по вибрационной поверхности в сторону оси *Y* равна сумме двух перемещений, одно из них эквивалентно значению радиусу кривошипа *r*, а другое – расстоянию ограниченным радиусом качения $H_г$ относительно центра оси *8* в направлении оси *Y*.

Тогда перемещение S_y по оси *Y* согласно рисунку 3 можно определить из прямоугольного треугольника с гипотенузой $H_г$ и катетом S_x по выражению (7):

$$S_y = H_г - \sqrt{H_г^2 - \frac{A^2}{4}}, \text{ м.} \quad (7)$$

Перемещение по оси *Y* любой точки находящейся на поверхности виброклапана на расстоянии L_i от его начала можно определить из выражения (8):

$$S_y^i = (A - S_Y) \cdot \frac{L_i}{L}, \text{ м.} \quad (8)$$

где *L* – длина вибрирующей поверхности, м.

Расстояние от начала движения частицы до его нахождения на поверхности вибрации при дальнейшем анализе работы виброклапана принимаем равным L_i=0,205 м, причем длину поверхности вибрации принимаем равной *L*=0,220 м согласно конструкторской документации.

Величину угла направления колебаний зерновки перемещающийся по вибрирующей поверхности для каждой его точки удаленной на расстояние L_i от начала подачи очищаемого вороха найдем по выражению (9):

$$\beta_i = \beta \cdot \frac{(L - L_i)}{L}, \text{ град} \quad (9)$$

Угол направления колебаний при нахождении частицы от начала подачи на расстоянии L_i = 0,205 м, будет иметь значение равным β_{Li}=6,1°.

Согласно рисунку 3 перемещение частицы зернового вороха по наклонной вибрирующей поверхности по осям *XOY* можно охарактеризовать дифференциальными уравнениями (10-11), которые имеют вид:

По оси *OX*:

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos\beta + m \cdot g \cdot \sin\alpha - \\ &- f \cdot (m \cdot g \cdot \cos\alpha - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin\beta) \end{aligned}. \quad (10)$$

По оси *OY*:

$$m \cdot a_y = m \cdot g \cdot \cos\alpha - m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin\beta. \quad (11)$$

где a_x и a_y соответственно ускорение, сообщаемое поверхностью виброклапана по оси *OX* и *OY*.

Во время перемещения зернового вороха по поверхности рассматриваемого вибрационного клапана, частицы входящие в его состав и находящиеся на отдалении от точки подачи смеси имеют различный характер движения. Это связано, прежде всего, с условиями связи с другими частицами и опорной поверхностью виброклапана. Самые неподвижные зерновки находятся в нижних слоях, которые непосредственно контактируют с рабочей плоскостью, совершающей колебания [16]. Нижние слои взаимодействуют с верхними слоями посредством сил трения. Коэффициент сопротивления сдвигу будет максимальным в верхнем слое, а минимальный в нижнем слое относительно опорной плоскости. На наружный слой распределяющегося по ширине вибрационного распределителя материала действуют две составляющих сил (рис.3). Первая является проекцией

силы тяжести на ось X и направленна в сторону перемещения слоя, а вторая перпендикулярна первой и представляет собой силу инерции движения поверхности виброклапана. Они и позволяют двигаться зерновке [17].

Для оценки функционирования виброклапана необходимо оценить значение его показателя кинематического режима работы. Его можно определить по выражению 12.

$$k = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}\ , \tag{12}$$

Учитывая, что начальные конструктивные и режимные параметры функционирования привода виброклапана известны, то показатель кинематического режима работы при указанных выше значениях равен k=0,07.

Зерновой ворох перемещающейся вибрационной поверхностью имеет три режима движения: первый – в сторону уклона; второй – в противоположную сторону уклона; третий – режим подбрасывания.

Определим условие, при котором частица двигается в режиме подбрасывания по выражению 13

$$k \geq \frac{\cos\alpha}{\sin\beta} \geq \frac{\cos\alpha}{\sin\beta_{Li}}. \tag{13}$$

Соотношение тригонометрических функций в начальном положении и конечном положении при угле направления колебаний при его нахождения на поверхности вибрации на расстоянии L соответственно будут равны 0,906 и 8,478, что больше кинематического режима работы k (k=0,07≤0,906≤8,478). Следовательно, при данных показателях работы виброклапана частицы будут двигаться без подбрасывания.

Условие, при котором зерновка перемещается в сторону противоположную уклону в месте подачи зернового материала, имеет следующий вид (14),

$$k \geq \frac{\sin(\varphi_{\max} + \alpha)}{\cos(\varphi_{\max} + \beta)} \geq \frac{\sin(\varphi_{\min} + \alpha)}{\cos(\varphi_{\min} + \beta)} \tag{14}$$

где φ_{min} – минимальный угол трения, принимаем, равным φ_{min}=10° [18]; φ_{min} – максимальный угол трения, принимаем, равным φ_{min}=32°[18]. Центробежная сила инерции P_i в данном случае направлена в противоположную сторону, тогда угол направленности колебаний принимаем равным β=-90°.

При угле направления колебаний β_{Li} при нахождении частицы на поверхности вибрации на расстоянии L_i, условие примет вид (15)

$$k \geq \frac{\sin(\varphi_{\min} + \alpha)}{\cos(\varphi_{\min} + \beta_{Li})} \geq \frac{\sin(\varphi_{\max} + \alpha)}{\cos(\varphi_{\max} + \beta_{Li})} \tag{15}$$

В рассматриваемом варианте направление силы инерции должно поменяться на противоположное. При этом при перемещении частиц зерновой смеси основополагающее влияние оказывают силы трения скольжения, которые возникают при вибротранспортировании. Данным силам свойственно минимальные значения углов трения. Многими исследователями отмечено, что при перемещении частиц по поверхности, совершающей амплитудные колебания с ускорением приближенным к ускорению свободного падения, фрикционные свойства зерновок находящиеся в ворохе значительно уменьшаются. Они периодически теряют сцепления между собой и контактирующей вибрирующей поверхностью приёмно-распределительного устройства и переходят в состояние псевдоожижение [18-20].

Определим соотношения тригонометрических функций при минимальном и максимальном значении угла трения φ согласно выражению 14. В результате расчётов получим, что кинематический режим работы устройства будет больше соотношений тригонометрических функций (k=0,07≤1,582≤3,303). Следовательно, ускорение, сообщаемое поверхностью виброклапана в начале движения зерновки не позволяет её двигаться вверх по ней при различном диапазоне углов трения.

Определим соотношения тригонометрических функций при минимальном и максимальном значении угла трения φ при угле направления колебаний β_{Li} согласно выражению 15. В результате расчётов получим, что кинематический режим работы устройства будет меньше соотношений тригонометрических функций (k=0,07≤0,593≤1,066). В конце движения процесс псевдоожижения становится постоянныv, при этом угол направления колебаний будет меньше минимального угла терния $\beta_{Li} < \varphi_{min}$. Следовательно, ускорение, сообщаемое поверхностью виброклапана не достаточно для подъема частиц вверх при минимальных и максимальных значениях углов трения. Поэтому зерновка в месте схода с вибрационной поверхности движется в направлении угла наклона вибрационной поверхности.

Условие, при котором зерновка перемещается в сторону уклона в месте подачи зернового материала при максимальных и минимальных значениях угла трения имеет следующий вид (16),

$$k \geq \frac{\sin(\varphi_{\max} - \alpha)}{\cos(\varphi_{\max} - \beta)} \geq \frac{\sin(\varphi_{\min} - \alpha)}{\cos(\varphi_{\min} - \beta)} \tag{16}$$

где φ_{min} – минимальный угол трения, принимаем равным φ_{min}=10° [18]; φ_{min} – максимальный угол трения, принимаем равным φ_{min}=32°[18].

При угле направления колебаний β_{Li} при нахождении частицы на поверхности вибрации на расстоянии L_i, при достижении выходного окна при максимальных и минимальных значениях угла трения условие примет вид (17)

$$k \geq \frac{\sin(\varphi_{\max} - \alpha)}{\cos(\varphi_{\max} - \beta_{Li})} \geq \frac{\sin(\varphi_{\min} - \alpha)}{\cos(\varphi_{\min} - \beta_{Li})} \tag{17}$$

Из выражения (16) и (17) определим соотношения тригонометрических функций в верхней части после подачи вороха в приемный бункер, а также в нижней части при достижении выходного окна при угле направления колебаний β_{Li}. В результате расчётов получим, что кинематический режим работы виброклапана будет больше соотношений тригонометрических функций для φ_{min}=10° (k=0,07≥-1,490 при β=90°; k≥-0.259 при β_{Li}=6,1°), и меньше для φ_{min}=32° (k=0,07≤2,256 при β=90°; k≤1,329 при β_{Li}=6,1°). В первом случае частица движется в сторону направления уклона равноускорено, во втором случае зерновка перемещается совместно с плоскостью движения вибрирующей поверхности независимо от направления колебаний.

Заключение

Проведенные теоретические исследования режимов работы вибрационной поверхности гравитационного распределителя показали, что перемещение зерновой массы происходит лишь в направлении её уклона относительно горизонтали. При этом рациональные конструктивные и кинематические параметры виброклапана такие, как радиус и частота вращения эксцентрика, а также угол наклона вибрационной поверхности, которые соответственно составляли r=0,003 м, ω=140 мин$^{-1}$ и α=25°, позволяет исключить режим «подбрасывания».

Список литературы

1. Ахматов А.А. Совершенствование процесса распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин: дис. … канд. техн. наук : 05.20.01 / А.А. Ахматов. Воронеж, 2018. 155 с.

2. Оробинский В.И., Ахматов А.А., Гиевский А.М., Чернышов А.В., Баскаков И.В. Повышение эффективности процесса распределения зернового вороха по ширине рабочих органов зерноочистительных машин: монография. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. 147 с.

3. Завражнов А.И., Тишанинов К.Н, Модернизация технологии подработки зерна путем применения авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2008. № 3. С. 56–58.

4. Патрин В.А. Моделирование процесса взаимодействия зерновой среды с рабочими органами сортировальных машин. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 6. С. 107–115.

5. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Gulevsky V.A., Baskakov I.V., Chernyshov A.V. Obtaining high-quality grain through the use of fractional technology for its cleaning. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Ma-

terials (P2ARM 2020) (Russia, Voronezh, 26-29 February, 2020). IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 640. No. 022046. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022046.

6. Агеев А.А. Совершенствование процесса загрузки зерноочистительных агрегатов : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Агеев.Воронеж, 2003. 145 с.

7. Жарких В. Ю., Тарасенко А. П. Обзор технических решений для равномерной загрузки зерноочистительных машин. Научно-исследовательские публикации. 2015. № 3(23). С. 76-81.

8. Исследование и разработка высокоэффективного воздушно-решетного сепаратора для фракционной технологии подготовки семенного материала. Отчет о НИР заключительный / ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ; Руководитель НИР В.И. Оробинский. Авторы: А.М. Гиевский, А.В. Чернышов. Рег. № НИОКТР АААА-А19-119070390018-5. 2019. 97 с.

9. Оробинский В.И., Гиевский А.М., Баскаков И.В., Ворохобин А.В., Чернышов А.В. Распределение зернового вороха по ширине зерноочистительной машины приёмно-распределительным устройством гравитационного типа. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т.14. № 2(69). С. 12-18. DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_2_12.

10. Патрин В.А. Графоаналитический метод определения энергии инерционного сдвигового течения зерновой среды на плоских рабочих органах сортировальных машин. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 10. С. 86–94.

11. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов. Наука в центральной России. 2013. № 5. С. 75–83.

12. Kharchenko S., Borshch Y., Piven M., Abduev M., Kovalyshyn S., Miernik A., Popardowski E., Kiełbasa P. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. Applied Sciences (Switzerland). 2021. Vol. 11. № 10. DOI 10.3390/app11104383.

13. Тарабрин Д. С. Совершенствование процесса послерешетной пневмосепарации зернового вороха в зерноочистительных машинах. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 1(52). С. 102-108. DOI 10.17238/issn2071-2243.2017.1.102.

14. Глушков А. Л. Анализ процесса движения компонентов зернового материала в приемной камере зерноочистительной машины. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 4(53). С. 69-75.

15. Сельвинский В. В. Вибрационное перемещение в процессах транспортирования. Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2016. № 75. С. 10-15.

16. Мачихин С. А., Рындин А. А., Васильев А. М., Стрелюхина А. Н. Движение верхнего слоя зерновой смеси на вибрирующей рифленой поверхности. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 4(78). С. 55-62. DOI 10.20914/2310-1202-2018-4-55-62.

17. Рындин А. А. Совершенствование процесса вибросепарирования зерновых смесей от легких примесей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.18.12 / Рындин А. А.; [Место защиты: Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Москва, 2019. 182 с.

18. Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980 . 304 с.

19. Тищенко Л. Н. Интенсификация сепарирования зерна. Харьков: Основа, 2004. 222 с.

Тищенко Л. Н., Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. Виброрешетная сепарация зерновых смесей: монография. Харьков: Міськдрук, 2011. 279 с.

References

1. Akhmatov A.A. Improving the process of grain heap distribution across the width of the working bodies of air-sieve grain cleaning machines: dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.20.01 / A.A. Akhmatov. Voronezh, 2018. 155 p.

2. Orobinsky V.I., Akhmatov A.A., Gievsky A.M., Chernyshov A.V., Baskakov I.V. Improving the efficiency of the grain heap distribution process across the width of the working bodies of grain cleaning machines: monograph. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2020. 147 p.

3. Zavrazhnov A.I., Tishaninov K.N., Modernization of grain processing technology through the use of autoregulated dividers of the flow of bulk materials. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2008. No. 3. pp. 56-58.

4. Patrin V.A. Modeling of the process of interaction of the grain medium with the working bodies of sorting machines. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2008. No. 6. pp. 107-115.

5. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Gulevsky V.A., Baskakov I.V., Chernyshov A.V. Obtaining high-quality grain through the use of fractional technology for its cleaning. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2020) (Russia, Voronezh, 26-29 February, 2020). IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 640. No. 022046. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022046.

6. Ageev A.A. Improving the process of loading grain cleaning units : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.20.01 / A.A. Ageev.Voronezh, 2003. 145 p.

7. Zharkikh V. Yu., Tarasenko A. P. Review of technical solutions for uniform loading of grain cleaning machines. Research publications. 2015. No. 3(23). pp. 76-81.

8. Research and development of a highly efficient air-sieve separator for fractional seed preparation technology. Final R&D Report / Voronezh State Pedagogical University; Head of R&D V.I. Orobinsky. Authors: A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov. Reg. No. R&D AAAA19-119070390018-5. 2019. 97 p.

9. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Baskakov I.V., Vorokhobin A.V., Chernyshov A.V. Distribution of the grain heap along the width of the grain cleaning machine by a gravity-type receiving and distributing device. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2021. Vol.14. No. 2(69). pp. 12-18. DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_2_12.

10. Patrin V.A. Graphoanalytic method for determining the energy of inertial shear flow of grain medium on flat working bodies of sorting machines. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2008. No. 10. pp. 86-94.

11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Classification and analysis of prospects for creating flow dividers of bulk materials. Science in central Russia. 2013. No. 5. pp. 75-83.

12. Kharchenko S., Borshch Y., Piven M., Abduev M., Kovalyshyn S., Miernik A., Popardowski E., Kiełbasa P. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. Applied Sciences (Switzerland). 2021. Vol. 11. № 10. DOI 10.3390/app11104383.

13. Tarabrin D. S. Improving the process of post-flight pneumoseparation of grain heaps in grain cleaning machines. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2017. No. 1(52). pp. 102-108. DOI 10.17238/issn2071-2243.2017.1.102.

14. Glushkov A. L. Analysis of the process of movement of grain material components in the receiving chamber of a grain cleaning machine. Agrarian science of the Euro-North-East. 2016. No. 4(53). pp. 69-75.

15. Selvinsky V. V. Vibrational displacement in transportation processes. Bulletin of the Amur State University. Series: Natural and Economic Sciences. 2016. No. 75. pp. 10-15.

16. Machikhin S. A., Ryndin A. A., Vasiliev A.M., Strelyukhina A. N. Movement of the upper layer of the grain mixture on a vibrating corrugated surface. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. vol. 80. No. 4(78). pp. 55-62. DOI 10.20914/2310-1202-2018-4-55-62.

17. Ryndin A. A. Improving the process of vibration separation of grain mixtures from light impurities : dissertation ... Candidate of Technical Sciences : 05.18.12 / Ryndin A. A.; [Place of defense: Voronezh State University of Engineering Technologies]. Moscow, 2019. 182 p.

18. Gortinsky V. V., Demsky A. B., Boriskin M. A. Separation processes at grain processing enterprises. M.: Kolos, 1980. 304 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Чернышов Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Оробинский Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воро-

нежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Гиевский Алексей Михайлович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Баскаков Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Подорванов Даниил Алексеевич – лаборант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Authors credentials

Affiliations

Chernyshov Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Orobinsky Vladimir – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Gievsky Aleksey – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Baskakov Ivan – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Podorvanov Daniil A. – Laboratory Assistant, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию (Received): 09.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 621.311.24
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-67-76

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРОГРАММЕ SIMINTECH

[1]Пиляев Сергей Николаевич
[1]Еремин Михаил Юрьевич
[1]Аксенов Игорь Игоревич
[1]Афоничева Дарья Дмитриевна
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *Актуальной является проблема обеспечения информацией о реальной частоте вращения ротора и электромагнитном моменте электродвигателя косвенным путем, с помощью расчетов по математической модели электродвигателя, используя только сравнительно просто измеряемые его параметры, такие как токи обмоток статора и напряжение питания. Задача*

состоит в том, чтобы по известному значению измеряемых и управляющих параметров определить текущие значения переменных состояния электродвигателя (токи, потокосцепления, частота вращения). Рассмотрена возможность построения компьютерной модели наблюдателя на основе фильтра Калмана с помощью программного комплекса SimInTech. В основу наблюдателя на базе фильтра Калмана положена модель, которая совпадает с математической моделью объекта управления. Каждый шаг работы фильтра Калмана подразделяется на два этапа. Первый представляет собой предсказание (экстраполяцию) состояния динамического объекта и предсказание матрицы ковариации на основании полученных данных о состоянии объекта на предыдущем шаге. Второй этап состоит из уточнения (коррекции) предсказанного значения с использованием данных текущих измерений токов и напряжений электродвигателя и вычисления матрицы усиления Калмана. Для реализации данного наблюдателя в программном комплексе SimInTech был разработан соответствующий блок. Алгоритм оценки частоты вращения ротора реализован в виде программного модуля. Проверка работоспособности данного наблюдателя осуществлялась при рассмотрении задачи пуска электродвигателя мощностью 3 кВт, она показала, что наблюдаемая частота отклоняется от реальной при переходном процессе, в установившемся режиме работы отклонений практически нет. Негативным фактором, обуславливающим трудность использования таких простейших наблюдателей на основе фильтра Калмана, является необходимость эмпирического подбора матриц для каждого конкретного электродвигателя.

Ключевые слова: *асинхронный электродвигатель, частота вращения, наблюдатель состояния, математическая модель, программный модуль, матрица.*

SIMULATION OF AN ASYNCHRONOUS STATE OBSERVER ELECTRIC MOTOR BASED ON THE KALMAN FILTER IN THE SIMINTECH PROGRAM

[1]Pilyaev Sergey
[1]Eremin Mikhail
[1]Aksenov Igor
[1]Afonicheva Daria
[1] FSBEI HE «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»

Abstract. *An urgent problem is to provide information about the actual rotational speed of the rotor and the electromagnetic torque of the electric motor indirectly, using calculations based on the mathematical model of the electric motor, using only its relatively simple measured parameters, such as the currents of the stator windings and the supply voltage. The task is to determine the current values of the state variables of the electric motor (currents, flow couplings, rotational speed) by a known value of the measured and control parameters. The possibility of constructing a computer model of an observer based on the Kalman filter using the SimInTech software package is considered. The observer based on the Kalman filter is based on a model that coincides with the mathematical model of the control object. Each step of the Kalman filter operation is divided into two stages. The first one is a prediction (extrapolation) of the state of a dynamic object and a prediction of the covariance matrix based on the data obtained about the state of the object at the previous step. The second stage consists of refining (correcting) the predicted value using data from current measurements of electric motor currents and voltages and calculating the Kalman gain matrix. To implement this observer, a corresponding block was developed in the SimInTech software package. The algorithm for estimating the rotor speed is implemented in the form of a software module. Checking the operability of this observer was carried out when considering the task of starting an electric motor with a power of 3 kW, it showed that the observed frequency deviates from the real one during the transition process, there are practically no deviations in the steady-state operation mode. A negative factor causing the difficulty of using such simple observers based on the Kalman filter is the need for empirical selection of matrices for each specific electric motor.*

Keywords: *asynchronous electric motor, rotational speed, state observer, mathematical model, software module, matrix.*

Введение. При всем разнообразии схем частотного управления асинхронными электроприводами общим для них является наличие двух замкнутых контуров автоматического регулирования частоты вращения ротора и электромагнитного вращающего момента электродвигателя [1, 2, 3, 4]. Для функционирования этих замкнутых систем регулирования требуется сигнал обратной связи, который обычно обеспечивается соответствующими датчиками частоты вращения или положения ротора, напряжения и тока обмоток статора. Если измерение электрических параметров не вызывает значительных проблем, то измерение частоты или положения ротора электродвигателя в ряде технологических установок весьма затруднено, а иногда и практически невозможно. Отсутствие информации о реальной частоте вращения ротора весьма снижает качество системы управления электроприводом [4, 5, 6, 7, 8]. Поэтому весьма актуальной является проблема обеспечения информацией о реальной частоте вращения ротора и электромагнитном моменте электродвигателя косвенным путем, с помощью расчетов по математической модели электродвигателя, используя только сравнительно просто измеряемые его параметры, такие как токи обмоток статора и напряжение питания. Математически, согласно теории управления, частотно управляемый асинхронный электропривод может быть представлен в виде следующих матричных уравнений [9, 10, 11, 12]:

$$\begin{cases} \dfrac{d[X]}{dt} = [A][X] + [B][U]; \\ [Y] = [C][X], \end{cases} \tag{1}$$

где $[X]$ – вектор переменных состояния электродвигателя (токи, потокосцепления, частота вращения);

$[A], [B], [C]$ – матрицы коэффициентов, соответствующих выбранной модели электродвигателя;

$[U]$ – вектор входных воздействий (напряжения питания);

$[Y]$ – вектор измеряемых выходных параметров, который доступен наблюдению и обработке.

Задача состоит в том, чтобы по известному значению измеряемых параметров $[Y]$ и управляющих параметров $[U]$ определить текущие значения переменных $[X]$. Как известно [10, 11, 12], такая задача относится к классу обратных некорректных задач и не имеет точного аналитического решения. Поэтому все известные способы и алгоритмы эффективной оценки параметров и переменных состояния асинхронных двигателей регулируемых электроприводов основаны на использовании априорной информации о наблюдаемом объекте и используют различные алгоритмы приближенных вычислений [11, 12, 13]. Устройства, или программные компоненты, выполняющие данные функции получили название наблюдающие устройства, или просто наблюдатели («estimation») [9, 10, 11, 12]. В литературе описано достаточно большое количество наблюдателей состояния асинхронного электродвигателя, основанных на различных алгоритмах [9, 10, 11, 12]. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, свои уровни робастности и области применения, и так далее. Идеального, общепринятого наблюдателя состояния асинхронного электродвигателя не существует.

Из-за сложности и нелинейности системы частотного управления наиболее предпочтительным методом их разработки и исследования является построение компьютерных моделей системы управления электропривода с учетом рассматриваемого наблюдателя. Для моделирования динамических процессов в электроприводе используется достаточно много программных продуктов [5, 6, 11, 13, 14], однако, среди подобных информационных систем компьютерного моделирования в последнее время широкое распространение получила отечественная разработка SimInTech [5, 7, 15]. Одним из достоинств SimInTech является возможность программирования и отладки внешней целевой системы управления (контроллера) с использованием стандартизированного программного кода, автоматически полученного в SimInTech. Поэтому, в качестве примера, рассмотрим возможности построение компьютерной модели наблюдателя на основе фильтра Калмана [10] с помощью данного программного комплекса.

Характерная особенность наблюдателя на основе фильтра Калмана заключается в том, что связь переменных состояния с данными измерений – только статистическая. В этом случае математическая модель частотно управляемого асинхронного электродвигателя (1) представляется в виде системы:

$$\begin{cases} \dfrac{d[X]}{dt} = [A][X] + [B][U] + [W(t)]; \\ [Y] = [C][X] + [V(t)], \end{cases} \tag{2}$$

где $[W(t)]$ – вектор случайных воздействий на объект в оценке параметров состояния;

$[V(t)]$ – вектор случайных помех, сопровождающих измерение заданных параметров.

В общем случае эти векторы считаются случайными процессами типа белого шума с нулевыми математическими ожиданиями.

В основу наблюдателя на базе фильтра Калмана положена модель, которая совпадает с математической моделью объекта управления:

$$\begin{cases} \dfrac{d[\tilde{X}]}{dt} = [A][\tilde{X}] + [B][U] + [K]\left([Y] - [\tilde{Y}]\right); \\ [\tilde{Y}] = [C][\tilde{X}], \end{cases} \tag{3}$$

где $[\tilde{X}]$ – наблюдаемые переменные состояния объекта;

$[Y]$ – реальные измеряемые параметры (токи статора);

$[\tilde{Y}]$ – наблюдаемые токи статора;

$[K]$ – матричный коэффициент усиления фильтра Калмана.

При постоянной частоте вращения ротора, рассматривая асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат $\alpha\beta$, можно записать векторы и матрицы уравнения (2) и (3) в следующем виде:

$$[A] = \begin{bmatrix} -a_1 & 0 & a_2 & a_3\omega_r & 0 \\ 0 & -a_1 & -a_3\omega_r & a_2 & 0 \\ a_4 & 0 & a_5 & -p\omega_r & 0 \\ 0 & a_4 & p\omega_r & a_5 & 0 \\ -k_m\Psi_\beta & k_m\Psi_\alpha & k_m i_\beta & -k_m i_\alpha & -k_f / J \end{bmatrix}; [B] = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; [X] = \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ \Psi_\alpha \\ \Psi_\beta \\ \omega_r \end{bmatrix}; \tag{4}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; [U] = \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix}; [Y] = \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix};$$

$$a_1 = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r};\ a_2 = \frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r};\ a_3 = p\frac{1-\sigma}{\sigma L_m};\ a_4 = \frac{L_m}{T_r};\ a_5 = -\frac{1}{T_r};\ T_r = \frac{L_r}{R_r};$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r};\ b_1 = \frac{1}{\sigma L_s};\ k_m = \frac{3p}{4J},$$

где i_α, i_β – токи в обмотках статора в модели по координатам $\alpha\beta$, А;

Ψ_α, Ψ_β – потокосцепления обмоток статора в модели по координатам $\alpha\beta$, Вб;

ω_r – частота вращения ротора, с$^{-1}$;

U_α, U_β – напряжения обмоток статора, В;

p – число пар полюсов обмотки статора;

k_f – коэффициент вязкого трения нагрузки;

J – момент инерции ротора, кг·м^2;

R_s, R_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора, Ом;

L_s, L_r, L_m – индуктивности обмоток статора и ротора, и индуктивность контура намагничивания, Гн.

Как известно, фильтр Калмана является оптимальным рекурсивным алгоритмом, который обеспечивает минимальную дисперсию в оценке переменных состояния для линейных систем [10]. Термин «рекурсивный» обозначает то, что для расчета текущих оценок требуется знание о состоянии системы только на предыдущем шаге. Поэтому дифференциальные уравнения заменяются разностными, где период дискретизации, как правило, равен шагу численного интегрирования Δt уравнений модели (3). В этом случае, решая систему уравнений (3) методом Эйлера, получим для каждого *k*-го шага интегрирования уравнения модели наблюдателя в виде:

$$\begin{cases} \left[\tilde{X}_k\right] = \left(\left[I\right] + \Delta t\left[A\right]\right)\left[\tilde{X}_{k-1}\right] + \Delta t\left[B\right]\left[U_{k-1}\right] = F\left(\left[\tilde{X}_{k-1}\right]\right) + \Delta t\left[B\right]\left[U_{k-1}\right]; \\ \left[\tilde{Y}_k\right] = \left[C\right]\left[\tilde{X}_{k-1}\right] = h\left(\left[\tilde{X}_{k-1}\right]\right), \end{cases} \quad (5)$$

где $\left[I\right]$ – единичная матрица;

Δt – период дискретизации (интегрирования), с.

Несмотря на то, что алгоритм фильтра Калмана ограничен линейными системами на практике наибольшее распространение для применения в электроприводе получил расширенный фильтр Калмана, который может использоваться и для нелинейных систем. В этом случае требуется только, чтобы матрицы модели наблюдателя были дифференцируемы по переменным состояния объекта $\left[X\right]$. Тогда функции *F* и *h* заменяются матрицами их якобиан [10]:

$$\left[F\right] = \frac{\partial F\left(\left[\tilde{X}\right]\right)}{\partial\left[\tilde{X}\right]}; \ \left[H\right] = \frac{\partial h\left(\left[\tilde{X}\right]\right)}{\partial\left[\tilde{X}\right]}. \quad (6)$$

Для асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, согласно выражениям (4), данные матрицы будут иметь вид:

$$\left[F\right] = \begin{bmatrix} 1+\Delta t a_1 & 0 & \Delta t a_2 & \Delta t a_3 \omega_r & \Delta t a_3 \Psi_\beta \\ 0 & 1+\Delta t a_1 & -\Delta t a_3 \omega_r & \Delta t a_2 & -\Delta t a_3 \Psi_\alpha \\ \Delta t \cdot a_4 & 0 & 1-\Delta t a_5 & -\Delta t p \omega_r & -\Delta t \Psi_\beta \\ 0 & \Delta t a_4 & \Delta t p \omega_r & 1-\Delta t a_5 & \Delta t \Psi_\alpha \\ -k_m \Psi_\beta & k_m \Psi_\alpha & k_m i_\beta & -k_m i_\alpha & 1-k_f / J \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$\left[H\right] = \Delta t\left[B\right],$$

Каждый шаг работы фильтра Калмана подразделяется на два этапа. Первый представляет собой предсказание (экстраполяцию) состояния динамического объекта $\left[\tilde{X}_k^*\right]$ и предсказание матрицы ковариации $\left[P_k^*\right]$ на основании полученных данных о состоянии объекта на предыдущем шаге $\left[\tilde{X}_{k-1}\right]$, $\left[\tilde{U}_{k-1}\right]$ и $\left[P_{k-1}\right]$:

$$\begin{aligned} \left[\tilde{X}_k^*\right] &= \left[F\right]\left[\tilde{X}_{k-1}\right] + \left[B\right]\left[\tilde{U}_{k-1}\right]; \\ \left[P_k^*\right] &= \left[F\right]\left[P_{k-1}\right]\left[F\right]^T + \left[Q\right], \end{aligned} \quad (8)$$

где $\left[P_{k-1}\right]$ – значение предсказания матрицы $\left[P_k^*\right]$ на предыдущем шаге;

$\left[F\right]^T$ – транспонированная матрица $\left[F\right]$;

$\left[Q\right]$ – ковариационная матрица случайных воздействий на объект.

Второй этап состоит из уточнения (коррекции) предсказанного значения с использованием данных текущих измерений токов и напряжений электродвигателя и вычисления матрицы усиления Калмана:

$$
\begin{aligned}
&[K_k]=\left[P_k^*\right][H]^T\left([H]\left[P_k^*\right][H]^T+[R]\right)^{-1};\\
&\left[\tilde{X}_k\right]=\left[\tilde{X}_k^*\right]+[K_k]\left([Y_k]-[H]\left[\tilde{X}_k^*\right]\right);\\
&[P_k]=\left([I]-[K_k][H]\right)\left[P_k^*\right],
\end{aligned}
\tag{9}
$$

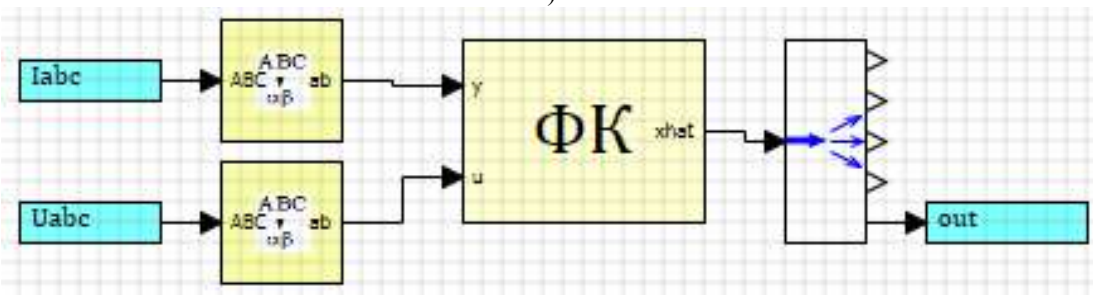
где $[R]$ – ковариационная матрица случайного шума измерений;

$[K_k]$ – матрица усиления Калмана;

$[H]^T$ – транспонированная матрица $[H]$.

Для реализации данного наблюдателя в программном комплексе SimInTech был разработан соответствующий блок EKF, внешний вид которого и его содержание показаны на рисунке 1.

а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид (а) и структура (б) субмодели «Наблюдатель Калмана»

Алгоритм оценки частоты вращения ротора (8) и (9) реализован в виде программного модуля «ФК».

На рисунке 2 показано окно свойств блока наблюдателя частоты вращения, где задаются параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя и матрицы шума измерения $[R]$ (8) и ковариационная матрица $[Q]$ (9). Проверка работоспособности данного наблюдателя осуществлялась при рассмотрении задачи пуска двигателя мощностью 3 кВт, как это показано на рисунке 3. Как видно из представленного графика (рисунок 3а) наблюдаемая частота отклоняется от реальной при переходном процессе, в установившемся режиме работы отклонений практически нет.

Негативным фактором, обуславливающим трудность использования таких простейших наблюдателей на основе фильтра Калмана, является необходимость эмпирического подбора матриц $[R]$ и $[Q]$ для каждого конкретного электродвигателя.

Свойства : Macro5

Свойства | Общие | Порты | Визуальные слои

Название	Имя	Формула	Значение
Индуктивность намагничивания, Гн	Lm_k		0.217
Индуктивность рассеяния статора, Гн	Ls_k		0.229
Индуктивность рассеяния ротора, Гн	Lr_k		0.229
Шаг квантования, с	Ts_k		1E-5
Число пар полюсов	Z_k		2
Активное сопротивление статора, Ом	Rs_k		2.2
Активное сопротивление ротора, Ом	Rr_k		2.68
Матрица шума измерения	R_k	diag([0.01,0.01])	[[0.01 , 0];[0 , 0.01]]
Ковариационная матрица	Q_k	diag([1E-6,1E-6,2E-6,2E-6,1E-4])	[[1E-6 , 0 , 0 , 0 , 0];[0

Рисунок 2 – Окно свойств блока «EKF»

а)

б)

а – графическая программа в SimInTech; б – график изменения частоты вращения во времени

Рисунок 3 – Наблюдение частоты вращения при пуске электродвигателя

Незначительные изменения параметров двигателя приводят к снижению адекватности результатов оценки наблюдателя. Поэтому обычно используется расширение моделей фильтра Калмана

на другие параметры двигателя (момент или сопротивление обмоток) или усложняется структура самого наблюдателя [10, 12]. В этом случае разработанная модель может служить основой для построения более сложных робастных наблюдателей состояния асинхронного электродвигателя.

Список литературы

1. Епифанов А.П., Малайчук Л.М., Гущинский А.Г. Электропривод. С-Пб.: Изд-во «Лань», 2012. 400 с.

2. Еремин М.Ю., Афоничев Д.Н., Мазуха Н.А. Электротехника, электроника и электропривод. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. 165 с.

3. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 498 с.

4. Пиляев С.Н., Труфанов В.В., Афоничева Д.Д. Повышение энергоэффективности технологических установок на основе скалярного управления асинхронным электроприводом // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции в 2-х ч.; Россия, Воронеж, 25 февраля 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. II. С. 127–132.

5. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н., Заболотная А.А. Компьютерная модель асинхронного электропривода для исследования его энергетических характеристик // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 09–10 июня 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 193–200.

6. Афоничева Д.Д., Андрианов А.А. Передовые цифровые технологии в АПК // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й студенческой научной конференции; г. Воронеж, февраль-июнь 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. Ч. II. С. 258–264.

7. Пиляев С.Н., Афоничев Д.Н. Модель системы скалярного управления асинхронным электроприводом с экстремальным регулятором // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции; Россия, Воронеж, 29-30 апреля 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. I. С. 65–73.

8. Афоничев Д.Н., Мазуха Н.А., Ряховский А.А. Преобразователи частоты в схемах управления электродвигателями // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции; Россия, Воронеж, 29-30 апреля 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. I. С. 33–37.

9. Muhammed Fazlur Rahman and Sanjeet K. Dwivedi. Modeling, Simulation and Control of Electrical Drives. UK.: The Institution of Engineering and Technology, 2019. 741 p.

10. Калман Р.Э., Фалб П.Л., Арбиб М.А. Очерки по математической теории систем. М.: Издательство «Едиториал УРСС», 2004. 400 с.

11. Haitham Abu-Rub, Atif Iqbal, Jaroslaw Guzinski. High performance control of AC drives with MATLAB/SIMULINK. John Wiley & Sons Ltd, 2021. 621 p.

12. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://privod.news/files/nabludateli_10.16_1.pdf.

13. Калачев Ю.Н. SimInTech. Моделирование в электроприводе. М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2019. 90 с.

14. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н. Информационные системы в электроэнергетике. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. 233 с.

15. Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://help.simintech.ru.

References

1. Epifanov A.P., Malajchuk L.M., Gushchinskij A.G. Elektroprivod. S-Pb.: Izd-vo «Lan'», 2012. 400 s.

2. Eremin M.YU., Afonichev D.N., Mazuha N.A. Elektrotekhnika, elektronika i elektroprivod. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2018. 165 s.

3. Novikov G.V. CHastotnoe upravlenie asinhronnymi elektrodvigatelyami. M.: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana, 2016. 498 s.

4. Pilyaev S.N., Trufanov V.V., Afonicheva D.D. Povyshenie energoeffektivnosti tekhnologicheskih ustanovok na osnove skalyarnogo upravleniya asinhronnym elektroprivodom // Tendencii

razvitiya tekhnicheskih sredstv i tekhnologij v APK: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v 2-h ch.; Rossiya, Voronezh, 25 fevralya 2021 g. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2021. CH. II. S. 127–132.

5. Afonichev D.N., Pilyaev S.N., Zabolotnaya A.A. Komp'yuternaya model' asinhronnogo elektroprivoda dlya issledovaniya ego energeticheskih harakteristik // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii; g. Voronezh, 09–10 iyunya 2020 g. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2020. S. 193–200.

6. Afonicheva D.D., Andrianov A.A. Peredovye cifrovye tekhnologii v APK // Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki: materialy 71-j studencheskoj nauchnoj konferencii; g. Voronezh, fevral'-iyun' 2020 g. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2020. CH. II. C. 258–264.

7. Pilyaev S.N., Afonichev D.N. Model' sistemy skalyarnogo upravleniya asinhronnym elektroprivodom s ekstremal'nym regulyatorom // Teoriya i praktika innovacionnyh tekhnologij v APK: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii; Rossiya, Voronezh, 29-30 apre-lya 2021 g. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2021. CH. I. S. 65–73.

8. Afonichev D.N., Mazuha N.A., Ryahovskij A.A. Preobrazovateli chastoty v skhemah upravle-niya elektrodvigatelyami // Teoriya i praktika innovacionnyh tekhnologij v APK: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii; Rossiya, Voronezh, 29-30 aprelya 2021 g. Voro-nezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2021. CH. I. S. 33–37.

9. Muhammed Fazlur Rahman and Sanjeet K. Dwivedi. Modeling, Simulation and Control of Electrical Drives. UK.: The Institution of Engineering and Technology, 2019. 741 p.

10. Kalman R.E., Falb P.L., Arbib M.A. Ocherki po matematicheskoj teorii sistem. M.: Izda-tel'stvo «Editorial URSS», 2004. 400 s.

11. Haitham Abu-Rub, Atif Iqbal, Jaroslaw Guzinski. High performance control of AC drives with MATLAB/SIMULINK. John Wiley & Sons Ltd, 2021. 621 r.

12. Kalachev YU.N. Nablyudateli sostoyaniya v vektornom elektroprivode [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://privod.news/files/nabludateli_10.16_1.pdf.

13. Kalachev YU.N. SimInTech. Modelirovanie v elektroprivode. M.: Izd-vo DMK-Press, 2019. 90 s.

14. Afonichev D.N., Pilyaev S.N. Informacionnye sistemy v elektroenergetike. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2017. 233 s.

15. Spravochnaya sistema SimInTech [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://help.simintech.ru.

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Пиляев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Еремин Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: emu69@yandex.ru.

Аксенов Игорь Игоревич – старший преподаватель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru.

Афоничева Дарья Дмитриевна – студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: daria.afonicheva@yandex.ru.

Affiliation

Pilyaev Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, associate professor of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Eremin Mikhail – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, associate professor of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: emu69@yandex.ru.

Aksenov Igor – senior lecturer of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru.

Afonicheva Daria – student of the federal state budgetary educational institution of higher education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Russia, Voronezh, e-mail: daria.afonicheva@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 629.113-592.004.58
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-76-83

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ OFFLINE/ONLINE КОНТРОЛЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

[1]Бондаренко Ирина Иосифовна
[1]Михалков Виктор Владимирович
[1]Сергеев Кирилл Леонидович
[2,3]Родионов Юрий Викторович
[2,3]Никитин Дмитрий Вячеславович
[2]Скоморохова Анастасия Игоревна

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

Реферат. *В настоящее время производство колесных тракторов ведется с усложнением конструкции силовых агрегатов, что увеличивает значимость своевременного технического обслуживания и качества выполнения регулировочных работ, которые оказывают непосредственное влияние на надежность автотракторной техники при эксплуатации и безопасность во время движения. Проведены лабораторные и эксплуатационные испытания на учебном тракторе Беларус-925 М и на тракторе Беларус-952, находящемся в реальных условиях эксплуатации. Установлено, что своевременное бортовое диагностирование тракторов модельного ряда «Беларус» дает возможность выявить и рассчитать срок службы узлов колесного трактора в процессе его эксплуатации без первоначальной разборки узла двигателя трактора. Рассмотрено типовое оборудование, которым оснащены современные системы, обеспечивающие инструментальный offline/online контроль расхода топлива и постоянный мониторинг рабочих режимов автотракторной техники в процессе эксплуатации. Предложены интеллектуальные датчики для систем топливной телематики для точного измерения уровня топлива в баках любых мобильных машин и стационарных емкостях. Основные контролируемые параметры: расход топлива, время и режим работы двигателя, объем и температура топлива, работа навесного оборудования, нагрузка на ось. Разработана новая методика и процесс бортового мониторинга степени выработки и определения по комплексному показателю предельной выработки ресурса моторного масла. На основании экспериментальных результатов получен матеметический показатель, который учитывает количество циклов пуска двигателя трактора «Беларус» и весь объем израсходованного топлива при различных режимах его работы в реальных условиях эксплуатации. Представленные в статье датчики прогнозируют рассчитываемый объем топлива в баке колесного трактора в соответствии с тарировочной таблицей, вносимой во внутреннюю память датчика при помощи сервисного комплекта организации. Выявлена величина*

предельной выработки ресурса моторного масла (V_0 = 5785,7 л) колесного трактора Беларус-952, находящегося в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *трактор, моторное масло, ресурс, пороговое значение, двигатель.*

MODERN SYSTEMS FOR OFFLINE/ONLINE CONTROL OF FUEL CONSUMPTION AND THRESHOLD VALUES OF ENGINE OIL FOR TRACTORS «BELARUS»

[1]Bondarenko Irina,
[1]Mikhalkov Viktor,
[1]Sergeev Kirill,
[2]RodionovYury,
[2]Nikitin Dmitry,
[2]Skomorokhova Anastasia
[1]Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"
[3]FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"

Abstract. *The production of wheeled tractors is carried out with the increasing complexity of the design of power units at the present time, which increases the importance of timely maintenance and the quality of adjustment work, which have a direct impact on the reliability of automotive equipment during operation and safety while driving. Laboratory and operational tests were carried out on a training tractor Belarus-925 M and on a tractor Belarus-952, which is in real operating conditions. It has been established that timely on-board diagnostics of tractors of the Belarus model range makes it possible to identify and calculate the service life of wheeled tractor units during its operation without initial disassembly of the tractor engine unit. The article considers the typical equipment with which modern systems are equipped that provide instrumental offline / online monitoring of fuel consumption and constant monitoring of the operating modes of automotive vehicles during operation. Intelligent sensors for fuel telematics systems are proposed for accurate measurement of the fuel level in the tanks of any mobile machines and stationary tanks. The main monitored parameters: fuel consumption, engine operating time and mode, fuel volume and temperature, attachment operation, axle load. A new method and process of on-board monitoring of the degree of production and determination of the maximum development of the engine oil resource by a complex indicator have been developed. The mathematical indicator, which takes into account the number of engine start cycles of the tractor "Belarus" and the entire volume of fuel consumed under different operating modes in real operating conditions, was obtained on the basis of experimental results. The sensors presented in the article predict the calculated volume of fuel in the tank of a wheeled tractor in accordance with the calibration table entered into the internal memory of the sensor using the organization's service kit. The sensors presented in the article predict the calculated volume of fuel in the tank of a wheeled tractor in accordance with the calibration table entered into the internal memory of the sensor using the organization's service kit. The value of the limiting development of the resource of engine oil (V0 = 5785.7 l) of the wheeled tractor Belarus-952, which is in real operating conditions, was revealed.*

Keywords: *tractor, engine oil, life, threshold value, engine.*

Введение. В рамках экспериментальных исследований проведены лабораторные и эксплуатационные испытания на тракторе Беларус-925 М, который является учебным трактором и принадлежит УО БГАТУ («Белорусскому государственному аграрному техническому университету»), и на тракторе Беларус-952, находящийся в реальных условиях эксплуатации. При проведении испытаний было установлено, что выработка ресурса моторного масла находится в зависимости от общего количества израсходованного двигателем топлива. Для нормальной работы масел имеются ограничения на количество загрязнений в нем, которое не влияет на функциональные свойства масел. Критерий выбора времени до замены масла определяется соотношением между его загрязнением и расходом топлива [1, 2].

При рассмотрении инструкции по эксплуатации двигателя была выявлена закономерность: обычно изготовитель устанавливает наработку двигателя в часах или пробег трактора до замены

масла. При работе тракторов было установлено, что замена моторного масла в новых двигателях и двигателях, которые работают в достаточно благоприятных условиях, происходит преждевременно. Представленные образцы моторного масла М14$Г_2$ являлись работоспособными. Однако, в некоторых двигателях (как правило, вследствие неполадок в системах топливоподачи и охлаждения) масло утрачивает свою работоспособность до плановой замены согласно инструкции [3]. Анализ образцов масла выявил снижение вязкости, ухудшение смазывающих способностей и нарушение режима жидкого трения. Установлено, что ухудшение

качества масла зависит от технического состояния двигателя вызвано накоплением в исследуемых образцах продуктов неполного сгорания топлива, что непосредственно.

Система ORF представляет собой универсальный сервис для осуществления мониторинга транспорта, непривязанный к какому-либо конкретному типу бортового оборудования. Рассматриваемая конструкция оборудования имеет совместимость с практически Любые виды бортовых терминалов для мониторинга транспортных средств, работающих по каналам связи GPRS, SMS, CDMA, GSM, а также радиоканалам подходят к рассматриваемой конструкции. Необходимое требование Бортовое оборудование транспортного средства необходимо оснастить приемником GPS или ГЛОНАСС и датчиками оборотов двигателя, уровня топлива и расхода топлива для использования всех возможностей сервиса GPS мониторинга транспорта. Альтернативой указанных датчиков может быть подключение к CAN-шине.

В сервисе ORF имеется уровни управления «машина–группа машин–автопарк» [4]. В соответствии с данными уровнями организуется доступ пользователей к осуществлению контроля автопарка, предполагающего просмотр онлайн информации GPS мониторинга (спутникового мониторинга) и отчетов.

Данная научная статья предназначена для специалистов, заинтересованных в решении практических задач, которые возникают в процессе эксплуатации машинотракторного парка сельскохозяйственных и других предприятий.

Основная часть. На рисунке 1 представлено современное оборудование инструментального offline/online контроля расхода топлива и выработки ресурса моторного масла колесного трактора.

Согласно рисунка 1, информация об уровне и запасе топлива в топливном баке поступает на соответствующие входы терминалов СКРТ-31 и СКРТ-45 от емкостного датчика DUT-E, а о количестве пусков двигателя, времени его работы и расходе топлива при работе в режимах пуска, холостого хода, номинальной работы и перегрузки – со счетчиков расходомера DFM 100CK [1, 2].

Информация о температуре и оборотах коленчатого вала ДВС поступает на соответствующие входы терминала GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45 от штатного датчика температуры охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания и клеммы W генератора.

Координаты местоположения и текущее время, по которым определяются скорость, маршрут и время работы исследуемого объекта в режиме движения, определяются по сигналам «видимых» навигационных спутников группировки GPS/ГЛОНАСС принимаемых антенной GPS, подключенной к терминалу СКРТ-45 [5].

Беспроводная передача телематической информации в виде сформированных терминалом СКРТ-45 GPRS-отчетов на удаленную точку доступа (сервер телематических услуг и/или персональный компьютер) потребителя/оператора-исследователя производится через вторую антенну и сеть GSM. Накопленная информация за квартал или любой произвольно выбранный период (час, день, неделю и т.д.) может быть считана с сервера телематических услуг зарегистрированным пользователем по специальному паролю через интернет [1].

Телематическая система контроля расхода топлива и рабочих режимов силового агрегата начинает свою работу при включении бортовой сети трактора и пуске двигателя.

Датчик уровня топлива DUT-E определяет и передает терминалам СКРТ-31 и GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45 информацию о запасе, повышении или снижении уровня топлива в баке (погрешность измерения составляет не более 1 %).

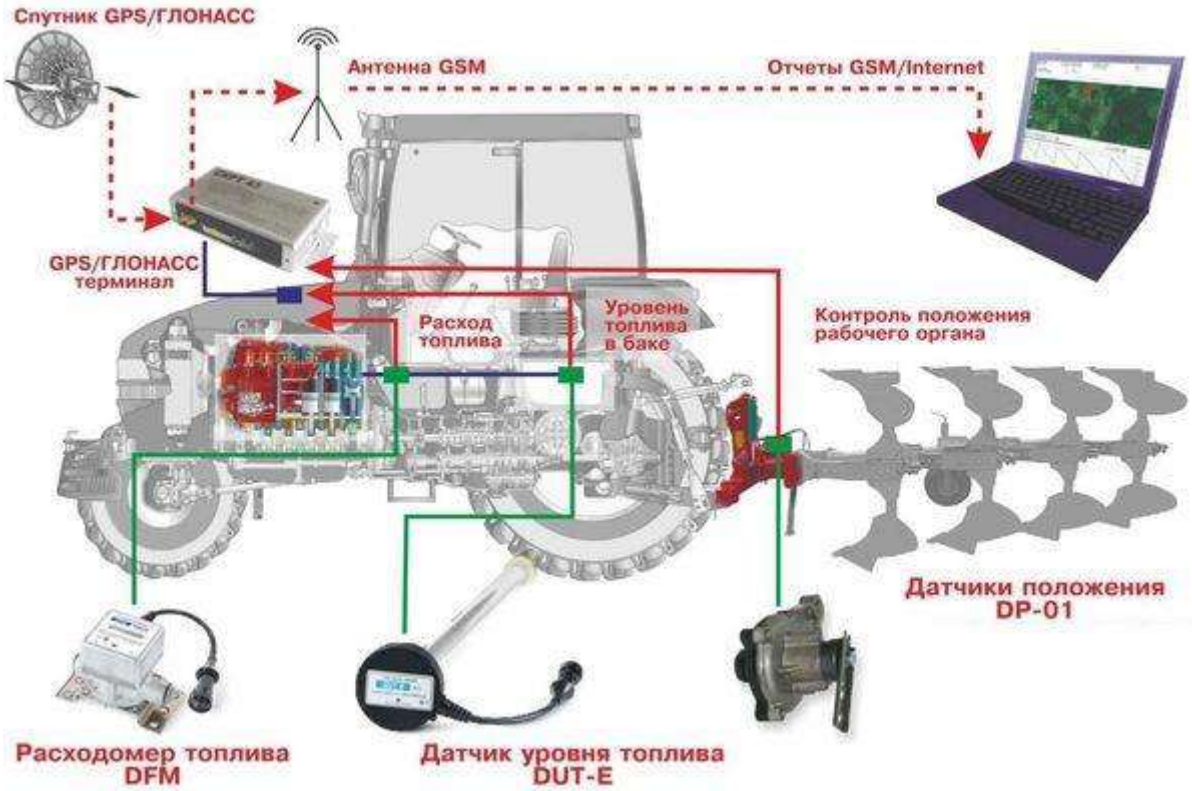


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема телематической системы контроля расхода топлива и выработки ресурса моторного масла и режимов работы трактора

Расходомер топлива DFM-100CK измеряет и передает параметры времени работы дизельного двигателя и расхода топлива при работе на различных режимах терминалам СКРТ-31 и GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45, а также данные отображались на монитор-индикаторе (погрешность измерения составляет не более 1 %).

Терминал СКРТ-31 находился на панели приборов трактора и отображал текущую информацию на встроенном дисплее СКРТ-31 для визуального контроля оператором-исследователем и/или водителем и одновременно регистрировал текущие параметры времени работы и расхода топлива в различных режимах для послерейсового контроля и анализа [6].

Терминал GPS/ГЛОНАСС СКРТ-45 обеспечивает регистрацию текущих параметров в режиме реального времени с привязкой к координатам местоположения, определяемых спутниковой системой и передачу информации в виде телематических отчетов через сеть GSM на сервер телематических услуг и далее, через интернет, на персональный компьютер оператора-исследователя [7].

Обработка информации и формирование необходимых отчетов на сервере телематических услуг производится с использованием специального серверного компьютера ORF-MONITOR 2.

Были проведены испытания, на разных режимах работы контрольного учебного трактора Беларус-925 М принадлежащий УО «БГАТУ» и подконтрольного трактора Беларус-952, который находится в реальных условиях эксплуатации и принадлежащий СПК «Радонежское», оба трактора имеют двигатель Д-245.5S2. Была разработана схема соединений компонентов (рисунок 1).

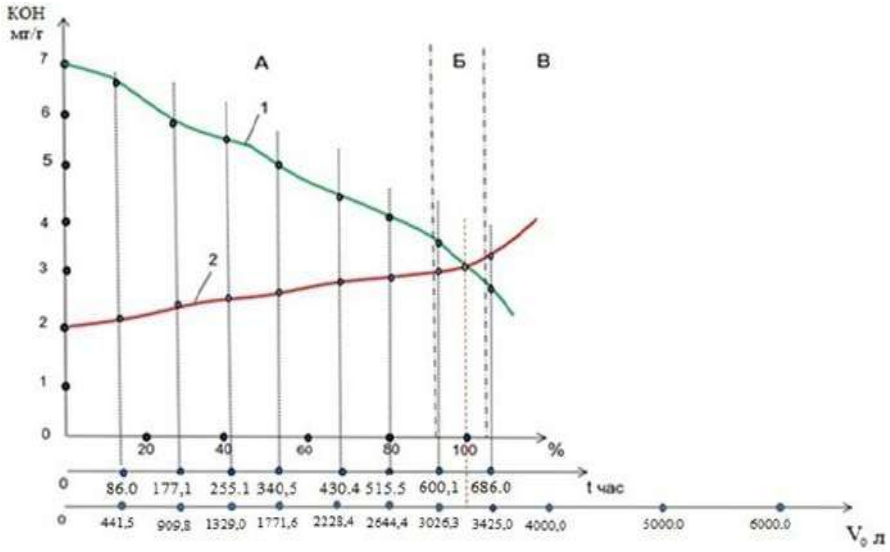
Для проведения испытаний учитывали показатели замены моторного масла, которые были прописаны в инструкции по эксплуатации [4], производиться через 250 часов работы двигателя [8]. Также учитывались прогнозы об изменении свойств моторного масла в зависимости как от времени, так и от режимов работы двигателя при учете значения щелочного и кислотного чисел свежего масла, поданного в двигатель. Для проведения лабораторных исследований был выполнен отбор проб моторного масла, согласно протоколу испытаний, объем которых составил 80 мл через

каждые 90 часов работы трактора. В ходе выполнения испытаний фиксировались время работы, величина общего расхода топлива и количество циклов «пуск–работа–останов двигателя» на момент взятия пробы. Материалы проб, для анализа, были представлены в ЦЗЛ Химико-технологическую лабораторию ОАО «Минский тракторный завод», где определялось щелочное и кислотное число каждой пробы, скорость изменения которых представляет собой один из основных показателей, отражающих сохранение качества и смазывающих свойств моторного масла в эксплуатационных условиях. У каждой взятой пробы масла щелочное и кислотное число сравнивались со щелочным и кислотным числом неиспользованного масла, после чего строилась графическая зависимость изменения темпа указанных показателей в ходе выполнения исследований (рисунок 2).

Данные испытания проб проводились на тракторах Беларус-925М и Беларус-952 (подконтрольный, находящийся в реальных условиях эксплуатации). Оба трактора оснащены аналогичными двигателями и проводились анализы результатов.

Результаты и их обсуждение. Были получены сводные отчеты по эксплуатации тракторов на разных режимах работы. Колесный трактор Беларус-925 отработал 93 дня (согласно протоколу испытания). В среднем в день производилось пять пусков двигателя и, как минимум, первый пуск – пуск непрогретого (до +40 °С) двигателя.

Так как трактор проработал 93 дня и в среднем выполнял 5 пусков двигателя,были расчитаны показатели $(93 \cdot 5 = 465)$ пусков двигателя, среди которых, как минимум, m_1 = 93 – не прогретого (до +40 °С), а прогретого (свыше +40 °С), соответственно, – m_2 = 465 – 93 = 372 пуска (согласно полученным отчетам исследования).



1 – щелочное число моторного масла; 2 – кислотное число моторного масла;
А – период работы моторного масла; Б – диапазон замены масла; В – диапазон старения масла

Рисунок 2 – Математические результаты изменения во времени показателей моторного масла марки М14Г$_2$ в процессе работы

Проведен анализ графической зависимости, отражающий влияние температуры и оборотов коленчатого вала двигателя колесного трактора на часовой расход топлива за выполнение цикла «пуск–прогрев–работа–останов». На основании полученных результатов пришли к выводу, что прогрев двигателя (до +40 °С) в среднем занимает 15 минут (0,25 часа). Согласно сроку замены моторного масла, установленному производителем, через 250 часов работы двигателя, количество пусков двигателя составляет (250:0,25) = 1000. Таким образом, коэффициент определяющий выработку ресурса моторного масла равен: k_1 = 0,001 – при пуске непрогретого (до +40 °С) двигателя [9].

За 250 часов работы двигателя объем израсходованного масла при периодичности замены, регламентированной заводом-изготовителем, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение) определяется, как:

$$V_0 = \frac{Hp}{\rho} = \frac{19,44 \cdot 250}{0,84} = 5785,7 \text{ л}, \quad (1)$$

где H – часовой расход топлива, кг/ч;

p – периодичность замены масла в часах работы двигателя, регламентированная заводом-изготовителем, ч;

ρ – плотность используемого топлива, г/см^3.

Полученная величина объема израсходованного масла заносилась в память бортового компьютера. Для двигателя Д-245.5S2, установленного на тракторе Беларус-952, часовой расход топлива составляет:

$$G = \frac{g_e N_e}{10^3} = \frac{240 \cdot 81}{1000} = 19,44 \text{ кг / ч}, \quad (2)$$

где g_e – эффективный удельный расход топлива, г/кВт·ч;

N_e – номинальная мощность двигателя, кВт.

При полной выработке ресурса моторного масла объем израсходованного двигателем топлива, согласно проведенным расчетам, составил – 3240 л.

На основании испытаний колесного трактора в эксплуатационных условиях установлено, что дать оценку степени выработки и определить остаточный ресурс моторного масла в эксплуатационных условиях можно не по времени работы, а используя комплексный показатель:

$$\Delta = \left(\frac{\sum_{h=1}^{n} V_h}{V_0} + n_1\lambda_1 + n_2\lambda_2 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{3240}{5785,7} + 93 \cdot 0,001 + 372 \cdot 0,0009 \right) \cdot 100\% = 100\%, \quad (3)$$

где V – объем израсходованного топлива при работе двигателя за цикл «пуск–работа–останов двигателя», л;

V_h – объем израсходованного топлива V за время работы двигателя при p-м цикле «пуск–работа–останов двигателя», л;

$h = 1, 2, \ldots, n$ (n – количество циклов);

V_0 – объем израсходованного топлива при работе двигателя за 250 часов (периодичность замены масла в часах работы двигателя, регламентированная заводом-изготовителем), который соответствует предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение определяется по формуле (1)), л;

n_1, n_2 – количество циклов пуска двигателя не прогретого (до +40 ^{0}С) и прогретого (свыше +40 ^{0}С), соответственно;

λ_1, λ_2 – коэффициенты выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя не прогретого (до +40 $^\circ$С) и прогретого (свыше +40 $^\circ$С) соответственно.

Коэффициент λ_2 = 0,0009 – при пуске двигателя прогретого (свыше +40 ^{0}С) определен математически (формула (3)).

Показатель, найденный по формуле (3), учитывает общий расход топлива, который характеризует параметры температуры и рабочие режимы контролируемого объекта, а также количество циклов пуска двигателя [10].

В ходе выполнения исследований выявлен признак снижения качественных характеристик щелочного числа работающего моторного масла после наработки в реальных условиях эксплуатации трактора Беларус-952 более 600 часов (рисунок 2).

Заключение. Рассмотрен принцип работы телематической системы и получение информации об уровне и запасе топлива в топливном баке, рассмотрения расположения датчика уровня топлива, методы измерения и передачи параметров расхода топлива, а также времени работы сельскохозяйственного агрегата.

Благодаря данным технологиям, можно дать достоверную оценку выработки ресурса моторного масла по комплексному показателю, который учитывает общий объем израсходованного топлива при работе двигателя на различных режимах и количество циклов его пуска.

Согласно полученным результатам исследования, была выявлена величина предельной выработки ресурса моторного масла (V_0 = 5785,7 л) колесного трактора Беларус-952, находящегося в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Бондаренко, И. И. Бортовой мониторинг степени выработки ресурса моторного масла колесных и гусеничных машин / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев // Наука и техника. – 2014. – № 4.– С. 10–14.

2. Бондаренко, И. И. Новый метод бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев // Автомобиле- и тракторостроение: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая 2018 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 9–11.

3. Бондаренко, И. И. Диэлектрическая проницаемость как показатель степени выработки ресурса моторного масла / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Д. А. Русакевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 32–34.

4. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «БЕЛАРУС» серия 1000–2000: учебное пособие / А. А. Пуховой, И. Н. Шило. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.

5. Технические средства диагностирования: справочник / В. В. Клюев [и др.]; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.

6. Каба, И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Каба. – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.

7. Волков, А. А. О методах идентификации и диагностики в сложных системах / А. А. Волков, Л. Н. Дроботенко // Вопросы технической диагностики. – 2013. – № 10. – С. 155–156.

8. Павлов, Б. В. Кибернетические методы технического диагноза / Б. В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 151 с.

9. Мороз, С. М. Математическая модель объекта бортового контроля и диагностики автомобилей / С. М. Мороз // Тр. МАДИ, 1976. – Вып. 115. – С. 79–81.

10. Карпиевич, Ю. Д. Теоретические основы создания систем бортового диагностирования тормозов автомобилей: дис. … д-ра техн. наук / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 2004. – 310 с.

References

1. Bondarenko, I. I. Bortovoj monitoring stepeni vyrabotki resursa motornogo masla kolesnyh i gusenichnyh mashin / I. I. Bondarenko, YU. D. Karpievich, N. G. Mal'cev // Nauka i tekhnika. – 2014. – № 4. – S. 10–14.

2. Bondarenko, I. I. Novyj metod bortovogo monitoringa stepeni vyrabotki resursa motornogo masla / I. I. Bondarenko, YU. D. Karpievich, N. G. Mal'cev // Avtomobile- i traktorostroenie: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 14–18 maya 2018 g.: v 2 t. / Belorus. nac. tekhn. un – t; redkol.: D. V. Kapskij [i dr.].– Minsk, 2018. – T. 1. – S. 9–11.

3. Bondarenko, I. I. Dielektricheskaya pronicaemost' kak pokazatel' stepeni vyrabotki resursa motornogo masla / I. I. Bondarenko, YU. D. Karpievich, D. A. Rusakevich // Agropanorama. – 2018. – № 6. – S. 32–34.

4. Traktory. Ustrojstvo. Tekhnicheskoe obsluzhivanie. Remont. «BELARUS» seriya 1000–2000: uchebnoe posobie / A. A. Puhovoj, I. N. SHilo. – Astana: KATU im. S. Sejfullina, 2012.– 779 s.

5. Tekhnicheskie sredstva diagnostirovaniya: spravochnik / V. V. Klyuev [i dr.]; pod obshch. red. V. V. Klyueva. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 672 s.

6. Kaba, I. V. Diagnostika aviacionnyh gazoturbinnyh dvigatelej / I. V. Kaba. – M.: Transport, 1980. – 247 s.

7. Volkov, A. A. O metodah identifikacii i diagnostiki v slozhnyh sistemah / A. A. Volkov, L. N. Drobotenko // Voprosy tekhnicheskoj diagnostiki. – 2013. – № 10. – S. 155–156.

8. Pavlov, B. V. Kiberneticheskie metody tekhnicheskogo diagnoza / B. V. Pavlov. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 151 s.

9. Moroz, S. M. Matematicheskaya model' ob"ekta bortovogo kontrolya i diagnostiki avtomobilej / S. M. Moroz // Tr. MADI, 1976. – Vyp. 115. – S. 79–81.

10. Karpievich, YU. D. Teoreticheskie osnovy sozdaniya sistem bortovogo diagnostirovaniya tormozov avtomobilej: dis. … d-ra tekhn. nauk / YU. D. Karpievich. – Minsk, 2004. – 310 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Бондаренко Ирина Иосифовна – кандидат технических наук, доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Михалков Виктор Владимирович – старший преподаватель, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, e-mail: viktor-mihalkov@mail.ru.

Сергеев Кирилл Леонидович – старший преподаватель, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, e-mail: rodionow.u.w@ramber.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна - магистрант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Bondarenko Irina Iosifovna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, EE "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Mikhalkov Viktor Vladimirovich - Senior Lecturer, EE "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, e-mail: viktor-mihalkov@mail.ru.

Sergeev Kirill Leonidovich - Senior Lecturer, EE "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Rodionov Yuri Viktorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Tambov State Technical University, Tambov, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, e-mail: rodionow.u.w@ramber.ru.

Nikitin Dmitry Vyacheslavovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tambov State Technical University, Tambov, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia Igorevna - Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Tambov, e-mail: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 01.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 631.1:332.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-83-89

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБАЙНОВ В ЗЕРНОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

[1]Зазуля Александр Николаевич
[2]Гаспарян Светлана Валентиновна
[2]Макарова Ольга Владимровна
[2]Хрипин Владимир Александрович
[3]Борычев Сергей Николаевич
[3]Макаров Валентин Алексеевич

[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний России
[3]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева

Реферат. *Предложена система оценки работы комбайнового парка, объединяющая показатели, определяющие эксплуатационные затраты, критерии своевременности, экономическую эффективность и такие факторы, как обеспеченность комбайнами и квалифицированными специалистами, на них работающими; капиталовложения в технику, организация и оплата труда, техническое обслуживание. Показано, что величина эффективности использования зерноуборочных комбайнов зависит от многих показателей в пределах расчётных границ экономической эффективности. Ранее было предложено приведенные затраты по предельно допустимой выработке на новой машине относить к удельным затратам по базовой машине, уменьшенным на величину приведенных затрат по новой машине на единицу выработки для определения границ экономической эффективности. В работе предложено также учитывать величину прибавки урожая и качества выполнения технологического процесса, сопоставимость показателей по марке комбайна. Получена номограмма по определению границ экономической эффективности при использовании зерноуборочных комбайнов с различной пропускной способностью при годовой загрузке, равной 150-160 часов. Номограмма показывает целесообразность использования на уборке зерновых с отношением их к массе соломы 1:1-1,5 комбайнов класса «Нива-эффект» при урожайности до 27-28 ц/га; комбайнов класса «Вектор-410»и при урожайности 28-40 ц/га; комбайнов класса «Акрос-530» при урожайности 40 ц/га. Система оценки работы комбайнового парка и разработанная авторами номограмма позволяют сформировать пути для определения годового экономического эффекта на границах экономической эффективности с учётом различных по пропускной способности моделей комбайнов.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, эффективность, факторы, показатели, номограмма, экономическая эффективность.*

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF COMBINE HARVESTERS IN GRAIN FARMING

[1]Zazulya Alexander
[2]Gasparyan Svetlana
[2]Makarova Olga
[2]Hripin Vladimir
[3]Borychev Sergey
[3]Makarov Valentin

[1]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]Acdemy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service of Russia
[3]Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev

Abstract. *A system for evaluating the work of a combine fleet is proposed, combining indicators that determine operating costs, criteria for timeliness, economic efficiency and such factors as the availability of combines and qualified specialists working on them; investment in technology, organization and remuneration of labor, maintenance is offered. It is shown that the value of the efficiency of using combine harvesters depends on many indicators within the estimated boundaries of economic efficiency. Previously, it was proposed that the reduced costs for the maximum permissible output on a new machine be attributed to the unit costs for the base machine, reduced by the amount of the reduced costs for the new machine per unit of output to determine the boundaries of economic efficiency. The value of the increase in yield and the quality of the technological process, the comparability of indicators for the brand of the combine are also proposed to be taken into account in the work. A nomogram for determining the boundaries of economic efficiency when using combine harvesters with different throughput at an annual load of 150-160 hours was obtained . The nomogram shows the feasibility of using grain crops with a ratio of 1: 1-1.5 to the straw mass of combines of the "Niva-effect" class with a yield of up to 27-28 c / ha; combines of the "Vector-410" class and with a yield of 28-40 c / ha; harvesters of the class "Akros-530" with a yield of 40 c / ha. The system for evaluating the work of the combine fleet and the nomogram developed by the authors allow us to form ways to determine the annual economic effect at the boundaries of economic efficiency, taking into account the different models of combine harvesters in terms of throughput.*

Keywords: *combine harvester, efficiency, factors, indicators, nomogram, economic efficiency.*

Введение. В результате реформирования за последние десятилетия по многим оценочным показателям и в целом в зерновом хозяйстве многие оценочные показатели и в целом по отраслям сократились до уровня 60-70 годов прошлого столетия. Сегодня сложилась непростая ситуация в зерновом хозяйстве страны, которое определяет устойчивое развитие АПК и продовольственную безопасность населения. Кризис в агропромышленном комплексе из-за развития «рыночных отношений» вызвал негативные процессы сокращения материально-технической базы в сельскохозяйственном производстве, привел к резкому сокращению поставок топлива, удобрений и новой техники сельхозтоваропроизводителю [1,2,3,4…]. Рост цен на материально-технические средства производства негативно сказался на ценах продукции в сельском хозяйстве, что в итоге привело даже к нецелесообразности расширенного воспроизводства зерновых культур.

Проблемы зернопродуктового подкомплекса в агропромышленном комплексе (АПК) можно сформировать как по организационно-экономическим, так и материально-техническим. Такой подход повысит эффективность функционирования зернопродуктового подкомплекса и конкурентная способность отечественной продукции. Сегодня моторесурс машинно-тракторного парка АПК выработан по разным источникам на 60-70%, что соответственно привело и к повышению затрат труда при производстве зерновых культур в 3-5 раз и превышает уровень развитых стран. Достаточно бедственное положение с машинно-тракторным парком в АПК России вызвано сокращением количества заводов сельскохозяйственного машиностроения машин и оборудования сельхозтоваропроизводителями. И в этом плане сегодня необходимо сельхозтоваропроизводителям создать необходимые условия для эффективного использования имеющейся техники, и приобретения новой техники по различным каналам с разработкой мероприятий по эффективному её использованию в сложившихся условиях.

Поэтому вопросы повышения эффективности производства и организации работ в зерновом хозяйстве остаются сегодня востребованными и актуальными.

Материал и методы. В работе изучались показатели эффективности функционирования зерноуборочной техники. Использованы методы системного анализа.

Результаты и обсуждение.

Проведенный анализ выявил, что показатели использования основных производственных фондов можно использовать как критериальные при оценке эффективности функционирования зерноуборочной техники, например, минимум приведенных затрат, которые представляют сумму капитальных вложений и эксплуатационных затрат, приведенных к одинаковой размерности с помощью коэффициента нормативной эффективности. Однако здесь следует учитывать и то обстоятельство, что технико-экономическая характеристика зерноуборочной техники не может ограничиваться только этими показателями [5]. Критериями могут быть и другие показатели, например, затраты труда на единицу произведенной работы, продукции или производительность комбайнов. Вполне естественно, что величины часовой, сменной выработки зависят от погодных условий выполнения уборочных работ, экологических и агротехнических факторов.

На рисунке 1 приведены обобщающие данные по возможным показателям работы комбайнового парка. Показана их зависимость от таких факторов, как обеспеченность комбайнами и квалифицированными специалистами, на них работающими; капиталовложения в технику, организация и оплата труда, техническое обслуживание. Предложенная система оценки работы комбайнового парка, отраженная на рисунке 1 условно объединяет показатели, определяющие эксплуатационные затраты, критерии своевременности, экономическую эффективность.

Для определения эффективности уборочных работ необходимо рассматривать все показатели системы, из которых одни имеют большое значение (критериальные показатели), другие второстепенное, отражающие некоторые аспекты использования техники [6]. Таким образом, с помощью системы можно выявить лучший вариант механизации уборочных работ, рассчитать эксплуатационные затраты и экономическую эффективность, что особенно важно при внедрении новой техники.

Таким образом, с помощью системы оценки показателей работы комбайнового парка можно выявить лучший вариант механизации уборочных работ, можно рассчитать экономическую эффективность, и, соответственно, выявить зависимости изменения других экономических параметров, что позволяет сделать соответствующий вывод, особенно при внедрении новой техники [8].

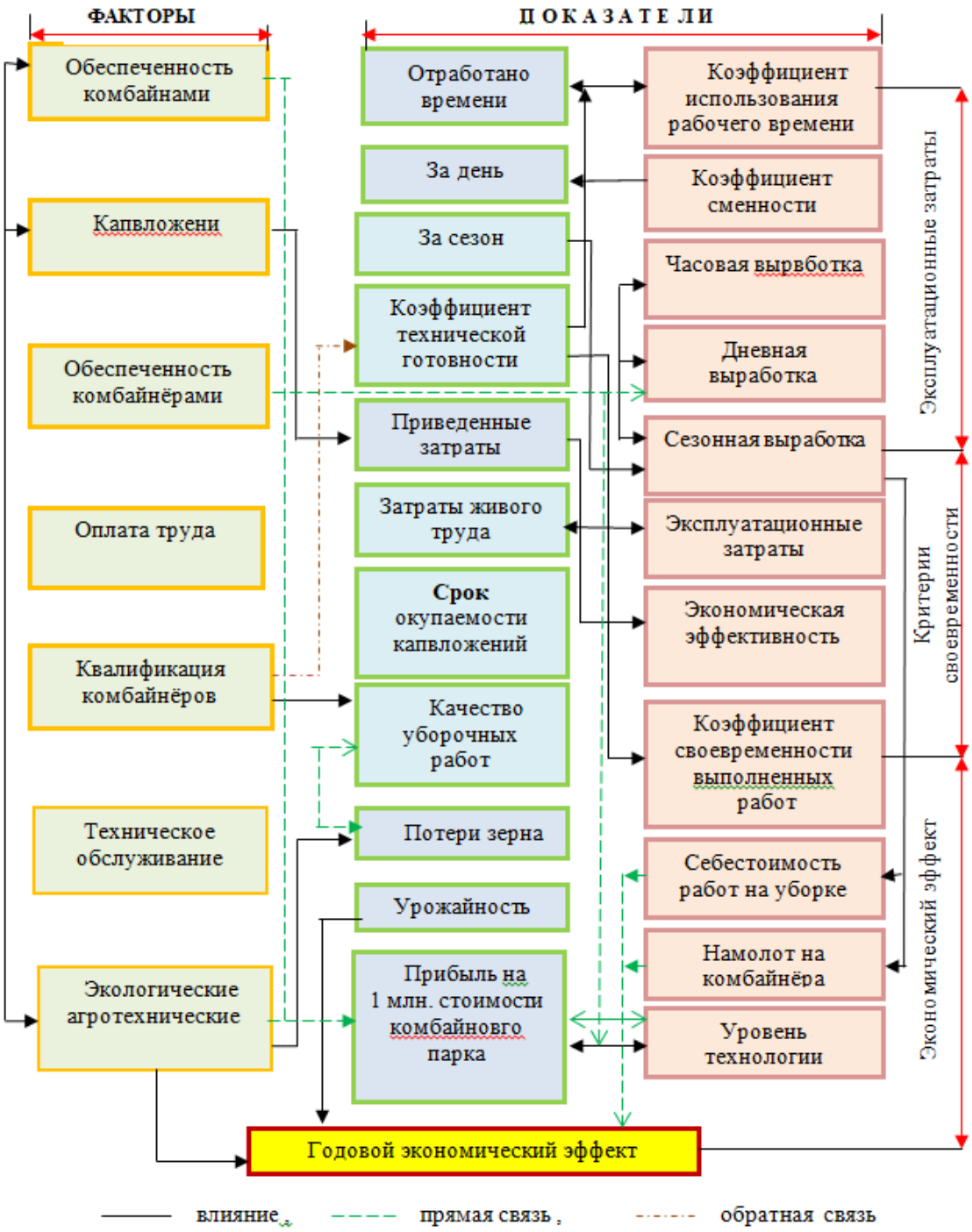


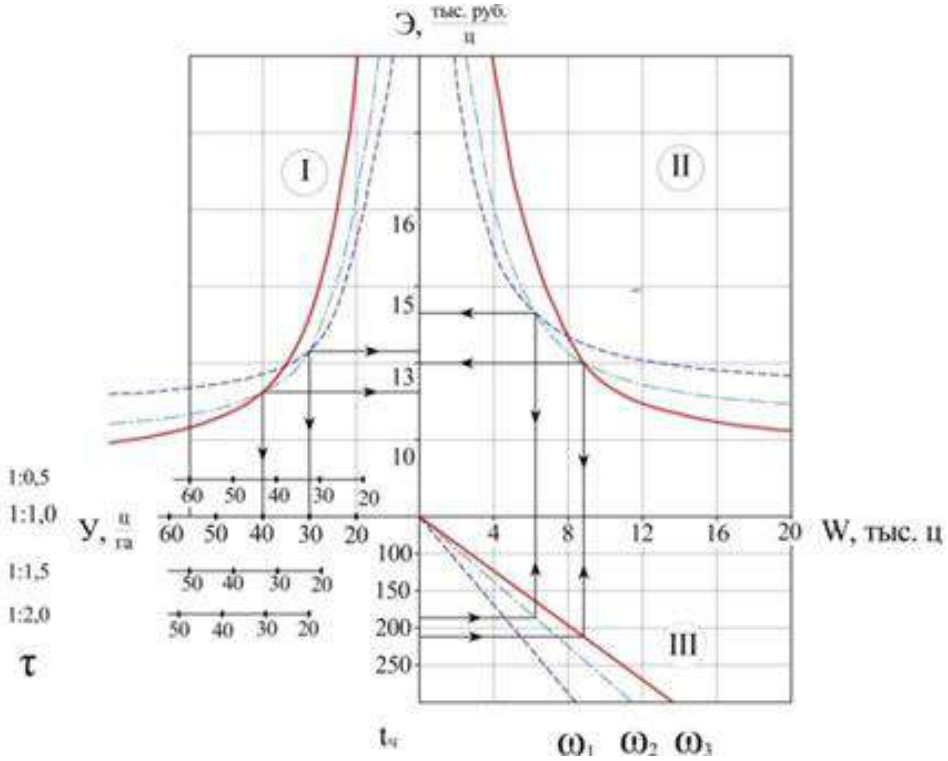
Рисунок 1 - Система оценки работы комбайнового парка

В России принято классифицировать зерноуборочные комбайны по пропускной способности, то есть по производительности в кг/с хлебной массы при потерях зерна 1,5% и дробления не больше 2%, соотношении зерна и соломе по массе 1:1,5 и влажности 18%. В настоящее время освоено производство пяти классов комбайнов: 5-6 кг/с - «Нива-эффект», «Енисей -1200-1», «Енисей-1200-2»; 6-7 кг/с – некоторые модели серии «Руслан»; 7-8 кг/с – «Вектор-410», «Руслан- 950»;

9-10 кг/с – «Акрос -530»; 12-14 кг/с –«Torum-740». Наилучшее применение находят комбайны класса 5-6, 7-8, 9-10 кг/с [5,8].

Следует отметить, что вопросами исследования границ экономической эффективности занимались многие учёные, и в частности, В.С. Антошкевич, М.И. Горячкин, А.П. Колотушкина, Г.Г. Косачёв, М.В. Шахмаев. В работах этих ученых были разработаны относительные показатели, например, приведенные затраты по предельно допустимой выработке на новой машине относены к удельным затратам по базовой машине, уменьшенным на величину приведенных затрат по новой машине на единицу выработки. По мнению авторов данной работы, при определении границ эффективности, следует также учитывать величину прибавки урожая и качества выполнения технологического процесса.

Для правильной оценки использования новой уборочной техники и определения границ экономической эффективности важное значение приобретают вопросы сопоставимости показателей не только по нормативам, но и по той или иной марке комбайна. С этой целью можно воспользоваться разработанной нами номограммой, по которой можно определить границы экономической эффективности используемых комбайнов (рисунок 2).



Э – эксплуатационные затраты и потери зерновых, тыс. руб/ц; W – сезонная выработка зерноуборочного комбайна, тас. ц; **У** – урожайность зерновых, ц\га; $\mathbf{t_ч}$ - сезонная загрузка зерноуборочного комбайна, часов; **τ** - соотношение в зерновой массе зерна, %; ***ω*** - часовая производительность зерноуборочного комбайна, ц/га; для комбайнов с пропускной способностью 9-10 кг/с; для комбайнов с пропускной способностью 6-7 кг/с, для комбайнов с пропускной способностью 5-6 кг/с,

Рисунок 2 - Номограмма для определения границам эффективности применения комбайнов

По этой монограмме можно судить о границах экономической эффективности использования комбайнов при различной сезонной загрузке и производительности, при изменении урожайности зерновых культур, цены,

Номограмма позволяет обосновать выбор перспективного парка машин с учетом урожайности зерновых культур и сезонности загрузки сельскохозяйственных машин, оценить эксплуатационные затрат и границы экономической эффетивности.

По номограмме можно сравнить эксплуатационные затраты комбайнов- «Нива-эффект», Вектор-410», «Акрос-530» при уборке зерновых при одинаковой годовой загрузке 150-160 часов. Анализ данных номограммы показывает, что зерновые с урожайностью до 27-28 ц/га и с сотношением к массе соломы 1:1-1,5 целесообразно убирать комбайном «Нива-эффект», с урожайностью 28-40 ц/га комбайнами «Вектор-410», свыше 40 ц/га комбайнами класса «Акрос-530». В точках пересечения гипербол для комбайнов с разной пропускной способностью эксплуатационные затраты равны, а перпендикуляры из этих точек на ось годовой выработки определяют границы экономической эффективности по разным маркам комбайнов. Таким образом рассчитанные границы экономической эффективности позволяют соизмерить, насколько выгодно внедрение новой модели комбайнов вместо существующих в хозяйстве. Все это позволяет обосновывать перспективный состав комбайного парка для конкретных условий в определенном регионе, в определенном хозяйстве, особенно учитывая всю систему показателей.

Выводы. Проведенные исследования по вопросам использования зерноуборочных комбайнов показывают, что проблемы их использования в зерновом хозяйстве как существующих так и приобретаемых новых можно сформировать по организационно-экономическим так и материально-техническим показателям на онове разработанной авторами модели по системе факторов и показателей. Представленная модель и разработанная авторами номограмма позволяют сформировать конструкцию для определения годового экономического эффекта на границах экономической эффективности с учётом различных моделей применения комбайнов по их пропускной способности.

Список литературы

1. Бирман В.Ф. Стратегическое управление как инструмент эффективного развития зернопродуктового подкомплекса / В.Ф. Бирман // Актуальные проблемы экономики и учета в отраслях агропромышленного комплекса: Межвузовский сб. науч. тр. / ФГОУ ВПО "АЧГАА". - Зерноград, 2005.-С.9-17.

2. Толмачев А.В., Полишкин А.А. Рекомендации по повышению экономической эффективности использования зерноуборочной техники. - Ставрополь: ГВУСУСК, 1986.-36 с.

3. Алтухов А.И. Зернопродуктовый подкомплекс АПК страны: проблемы становления и развития / А.И. Алтухов // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. - 2015. - №6. - С. 2 – 7.

4. Сидоренко О.В. Концептуальный подход к оценке развития зернопродуктового подкомплекса в условиях открытой экономики / О.В. Сидоренко // Аграрная Россия. - 2015. - № 1. - С. 35 – 38.

5. Жалнин Э.В. Методические аспекты мезанизации производства зерна в России. – М.: Полиграф сервис, 2012, - 368 с.

6. Кузьмин В.Н. Использование сельскохозяйственной техники в современных условиях. – М.: Росинформагротех, 2005, - 384 с.

7. Пьянов В.С. О работе комбайнов в условиях крупнотоварного производства зерна. – Техника в сельском хохяйстве, №3, 2010.

8. Измайлов А.Ю., Макаров В.А. К вопросу об обосновании целесообразности машин и оборудования// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. - № 3. – С17-19.

References

1. Birman V.F. Strategic management as a tool for the effective development of the grain-product subcomplex / V.F. Birman // Actual problems of economics and accounting in the branches of the agro-industrial complex: Interuniversity collection of scientific tr. / FGOU VPO "ACHGAA". - Zernograd, 2005.-C.9-17.

2. Tolmachev A.V., Polishkin A.A. Recommendations for improving the economic efficiency of using grain harvesting equipment. - Stavropol: GVUSUSK, 1986.-36 p.

3. Altukhov A.I. Grain-product subcomplex of the agro-industrial complex of the country: problems of formation and development / A.I. Altukhov // The economy of agricultural and processing enterprises. - 2015. - No. 6. - pp. 2-7.

4. Sidorenko O.V. A conceptual approach to assessing the development of a grain-product subcomplex in an open economy / O.V. Sidorenko // Agrarian Russia. - 2015. - No. 1. - pp. 35-38.

5. Zhalnin E.V. Methodological aspects of mesanization of grain production in Russia. - M.: Polygraph service, 2012, - 368 p.
6. Kuzmin V.N. The use of agricultural machinery in modern conditions. - M.: Rosinformagrotech, 2005, - 384 p.
7. Pyanov V.S. About the work of combines in the conditions of large-scale grain production. - Technique in rural khokhyaystvo, No. 3, 2010.
8. Izmailov A.Yu., Makarov V.A. On the question of substantiating the feasibility of machinery and equipment//agricultural machines and technologies. – 2016. - №3. – C17-19.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации.

1. Зазуля Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, директор Федерального бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Россия, г. Тамбов, e-mail: zaaulja@rambler. ru.
2. Гаспарян Светлана Валентиновна – кандидат экономических наук, доцент «Академия права и управления ФСИН» Россия, г.Рязань, e-mail: gasparyan@ yndex.ru.
3. Макарова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор, «Академия права и управления ФСИН», Россия г. Рязань, e-mail: m_ov2302@bk.ru.
4. Хрипин Владимир Александрович – кандидат технических наук, «Академия права и управления ФСИН», Россия e-mail: khripin@mail.ru.
5. Борычев Сергей Николаевич – профессор РАН, доктор технических наук, «Рязанский государчтвенный агротехнологический университет им П.А. Костычева», Россия, e– mail: 89606486088@mail.ru.
6. Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор «Рязанский государственные агротехнологический университет им. П.А. Костычева» Россия, г.Рязань, e-mail: makarov@rambl.ru.

Author credentials
Affiliations

1. Zazulya Alexander Nikolaevich - doctor of technical sciences, professor, director of the federal budgetary scientific institution "All-russian research institute for the use of machinery and petroleum products in agriculture". Russia, Tambov, e-mail: zaaulja@rambler. ru.
2. Gasparyan Svetlana Valentinovna - candidate of economic ыciences, associate professor "Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service" Russia, Ryazan, e-mail: gasparyan@ yndex.ru.
3. Makarova Olga Vladimirovna - doctor of economics, professor, "Academy of law and management of the federal penitentiary service", Russia, Ryazan e-mail: m_ov2302@bk.ru.
4. Khripin Vladimir Aleksandrovich - candidate of technical sciences, "Academy of Law and management of the federal penitentiary service", Russia Ryazan e-mail: khripin@mail.ru.
5. Borychev Sergey Nikolaevich - professor of the russian academy of sciences, doctor of technical sciences, «Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev», Russia, e-mail: 89606486088@mail.ru.
6. Makarov Valentin Alekseevich - doctor of technical sciences, professor "Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev" Russia, Ryazan, e-mail: makarov@rambl.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.11.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.12.2021

УДК 636.087.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-89-95

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВ

[1]Доровских Владимир Иванович

[1]Шулаев Геннадий Михайлович
[1]Милушев Ринат Келимулович
[1]Жариков Вадим Сергеевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Разработан технологический регламент производства специальных кормовых добавок для высокопродуктивных животных. Научно обоснован состав кормовой добавки на основе льняного семени, кукурузы и биологически активных веществ нового поколения (биоплексы йода, селена, витамин Е). В условиях АО «Голицыно» на базе оборудования кормоцеха (экструдер, дробилка, передвижной транспортер, комбикормовый агрегат «Доза») отработаны технологические режимы экструдирования смеси льна и кукурузы, приготовления премикса из биологически активных веществ, способы подготовки и смешивания компонентов, контроля качества продукции. На принципе циклично-периодического использования имеющегося в кормоцехе оборудования разработаны 3 технологические линии приготовления сырья и производства обогатительных кормовых добавок. Получен экспериментальный образец кормовой добавки под названием «Омегалён-2» следующего состава, в % по массе: льняное семя – 70; кукурузная дерть – 29,83; витамин Е(50) – 0,007; Селено-Ки(0,25) – 0,007; ОМЭК-J(2,5) – 0,003; поваренная соль (консервант) – 0,153. В скобках представлена активность препарата. Проведенные исследования показали, что использование в рационе высокопродуктивных коров этой кормовой добавки по 0,5-1,0 кг в сутки в период раздоя повышает молочную продуктивность животных на 16,4%. Приготовление кормовых добавок на основе льняного семени и биологически активных веществ перспективно и возможно в условиях хозяйств.*

Ключевые слова: *кормовая добавка, льняное семя, БАВ, технология приготовления, оборудование.*

PRODUCTION SCHEDULES OF PREPARATION OF FODDER ADDITIVES FOR HIGHLY PRODUCTIVE ANIMALS IN THE CONDITIONS OF ECONOMY

[1]Dorovskih Vladimir
[1] Shulaev Gennady
[1] Milushev Rinat
[1] Zharikov Vadim
[1]FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov

Abstract. *Technological regulations for the production of special feed additives for highly productive animals have been developed. The composition of a feed additive based on flaxseed, corn and new generation biologically active substances (bioplexes of iodine, selenium, vitamin E) is scientifically substantiated. Technological modes of extrusion of a mixture of flax and corn, preparation of a premix from biologically active substances, methods of preparation and mixing of components, quality control of products were worked out in the conditions of JSC "Golitsyno" on the basis of the equipment of the feed shop (extruder, crusher, mobile conveyor, combined feed unit "Dose"). 3 technological lines for the preparation of raw materials and the production of enrichment feed additives are developed on the principle of cyclic-periodic use of the equipment available in the feed shop. An experimental sample of a feed additive called "Omegalon-2" of the following composition, in% by weight: flaxseed - 70; corn turf - 29.83; vitamin E (50) - 0.007; Seleno-Ki (0.25) - 0.007; OMEC-J (2.5) - 0.003; table salt (preservative) - 0.153 received. The activity of the drug is shown in brackets. Studies have shown that the use of this feed additive in the diet of highly productive cows, 0.5-1.0 kg per day during the milking period, increases the milk productivity of animals by 16.4%. The preparation of feed additives based on flaxseed and biologically active substances is promising and possible in the conditions of farms.*

Keywords: *the fodder additive, a linen seed, bas, technology of preparation, the equipment.*

Введение. В современных условиях, когда используются животные с высоким генетически заложенным потенциалом продуктивности, значительно возрастают требования к полноценности кормления, особенно высокопродуктивных коров в первые 110 дней лактации, за которую производится около 40-45% всей молочной продукции. В норме потери массы тела у коров в течении первых двух месяцев лактации могут составлять 5-10%, а при несбалансированном кормлении удваиваются. Поэтому новотельный период – самый трудный с точки зрения удовлетворения потребностей коровы в энергии, питательных и биологически активных веществах.

Специалисты разных стран утверждают, что использование семян льна способствует активации обмена веществ, укреплению здоровья, увеличению молочной продуктивности [1]. В настоящее время в мировой практике наблюдается повышенный интерес к использованию данного вида сырья в кормлении животных. Это связано с тем, что в льняном семени содержится много ценных питательных веществ: жира 30-39%, белка от 16 до 33%, минеральных веществ до 5%, все необходимые микроэлементы и витамины. В составе жира половину составляет полиненасыщенная линоленовая кислота (Q3), выполняющая функцию витамина F [2].

Следует отметить, что в семенах льна находится до 10% слизистых веществ, которые способствуют предохранению стенок желудочно-кишечного тракта от механических повреждений и регулированию выделения непереваренных остатков. В льняном семени, к тому же, имеется селен (порядка 1 мг/кг продукта), что позволяет его использовать как естественный источник этого неметалла [3].

В льняном семени обнаружены фитоэстрогены-лигнаны, которые положительно влияют на воспроизводительную функцию животных, но имеется вредное вещество – гликозид линамарин, который разрушается под воздействием высоких температур. Поэтому перед использованием льняное семя необходимо подвергнуть термической обработке. Наиболее практичным методом является экструзия смеси льна с отрубями или различными видами зерна [4].

В кормлении высокопродуктивных коров большую роль играют антиоксиданты и микроэлементы, особенно их органические формы, которые повышают не только продуктивность и здоровье животных, но и качество молочной продукции [5, 6].

В Тамбовской области расширяются посевы льна, продукция, в основном, идёт на экспорт заграницу, где из неё готовят различные кормовые добавки, которые затем с добавленной стоимостью поступают на наш рынок. В этой связи большое научно-практическое значение представляет разработка на основе льняного семени состава отечественных кормовых добавок и технологии их изготовления.

Цель исследования – создание кормовых добавок и технологии их приготовления на основе льняного семени и биологически активных веществ нового поколения для высокопродуктивных животных.

Материалы и методы. В работе использованы экспериментальный, аналитический и расчетно-конструктивный методы исследования.

Результаты и обсуждения. Впервые научно обоснован состав кормовой добавки из семени льна и биологически активных веществ нового поколения (биоплексы йода и селена, витамин Е) для высокопродуктивных коров в период раздоя.

На основе ранее проведённых исследований при экструдировании семян льна в качестве наполнителя нами была использована дроблёная кукуруза. Содержание в ней большого количества крахмала и серы за счет метионина способствует при экструзии связыванию (инактивации) антипитательных веществ в готовом продукте.

В условиях кормоцеха молочного комплекса АО «Голицыно» на имеющемся оборудовании (экструдер ЭТР-500/30, дробилка ДКР с пневмозабором, передвижной шнековый транспортёр и комбикормовый агрегат «Доза») отработана технология приготовления двух видов кормовых добавок: «Омегалён-1» - экструдат смеси льняного семени и дроблёной кукурузы в соотношении 70:30 и «Омегалён-2» - экструдат, обогащённый биологически активными веществами.

Были исследованы различные соотношения компонентов и режимы экструзии, рассчитаны дозы и способы введения биологически активных веществ в состав этой кормовой добавки. Проведён сравнительный анализ разных ее составов с помощью обобщённой функции желательности Харрингтона для выявления оптимального варианта.

Наиболее оптимальный состав обогащённой кормовой добавки «Омегалён-2» содержание компонентов по массе, в %: льняное семя – 70; кукурузная дерть – 29,83; витамин Е(50) – 0,007; Селено-Ки(0,25) – 0,007; ОМЭК-J-(2,5) – 0,003; поваренная соль (консервант) – 0,153. В скобках представлена активность препарата.

На рисунке 1, представлена схема технологической линии приготовления кормовых добавок.

Для упрощения технологии обогащения экструдата биологически активными веществами предусматривается приготовление на их основе премикса. В кормоцехе устанавливается для этого небольшой смеситель с объёмом камеры смешивания на 50 кг наполнителя, в качестве которого используются пшеничные отруби или зерно тонкого помола. Технология приготовления простая и выполняется в ручном режиме ответственным специалистом с использованием лабораторных весов. В расчете на 10 кг наполнителя вводится 70 г витамина Е, 70 г Селено-Ки, 30 г ОМЭК-J и поваренной соли в качестве консерванта 1530 г. Премикс вводят в количестве 1,0% к массе экструдата.

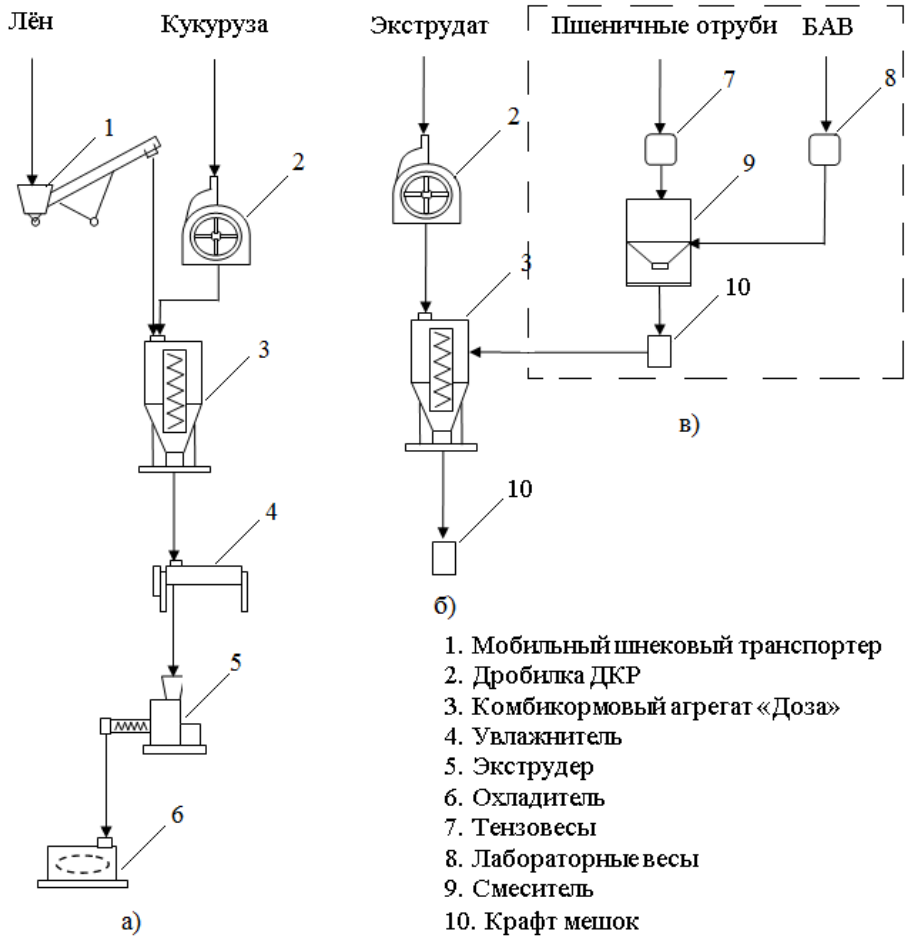


Рисунок 1 - Схема технологической линии приготовления кормовых добавок
а) Экструдирование смеси льна и кукурузы для «Омегалён-1» б) Обогащение дробленого экструдата БАВ для «Омегалён-2» в) Линия приготовления премикса

Принципиальная схема приготовления кормовых добавок «Омегалён-1» и «Омегалён-2» следующая. На первом этапе технологии предусмотрено смешивание льняного семени с дробленой кукурузой в соотношении 70:30 в комбикормовом агрегате «Доза», в котором установлены тензовесы. Затем эта смесь подается на экструдирование. Полученный экструдат охлаждается, дробится на молотковой дробилке и пневмотранспортером загружается в комбикормовый агрегат «Доза». В дальнейшем, если в хозяйстве нужна кормовая добавка «Омегалён-1», то измельчённый экструдат

направляют в складское помещение. Для получения более ценной кормовой добавки «Омегалён-2» измельченный экструдат дополнительно обогащается премиксом в количестве 1,0% к его массе.

На рисунке 1 показаны 3 технологические линии приготовления кормовых добавок при циклично-периодическом использовании имеющего в кормоцехе оборудования.

На линии «а» происходит смешивание льна и дроблёной кукурузы, а затем экструдирование смеси. Полученный экструдат является кормовой добавкой «Омегалён-1».

Для производства более ценной добавки «Омегалён-2», обогащённого экструдата биологически активными веществами, используется технологическая линия «б».

Для изготовления премикса в качестве обогатительной добавки на основе БАВ применяется технологическая линя «в». За счёт премикса упрощается процесс и повышается качество изготовления кормовой добавки «Омегалён-2».

При выполнении технологии приготовления кормовых добавок на основе экструдированной смеси льна и кукурузы необходимо следовать разработанным нами параметрам (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры технологического процесса приготовления кормовых добавок

Разработанные параметры	Значение
Массовая доля в смеси, %: - семени льна - дробленой кукурузы	 70 30
Размер частиц измельченного зерна кукурузы, мм	1,5-1,8
Влажность смеси семени льна и кукурузы, %	до 15%
Диаметр отверстий молотковой дробилки при измельчении зерна и экструдата, мм	3,0
Для экструдата	
Температура, ºС: в матрице после охлаждения	130-140
	Температура окружающей среды (не более чем на 10 ºС выше)
Размер частиц после измельчения, мм	1,0-1,2
Влажность, %	10-12
Объемная масса, кг/м^3: - не измельченного - измельченного	 320-340 450-470

С учётом этих технологических требований был изготовлен экспериментальный образец кормовой добавки «Омегалён-2». Качественная характеристика его следующая: содержание обменной энергии 15,5 МДж/кг, сырого протеина 17,9%, жира 27,3%; в том числе полиненасыщенных жирных кислот – линолевой – 10,96; линоленовой – 14,1; микроэлементов мг/кг – селена 1,2, йода 6,2, витамина Е – 470,0. Проведенные исследования показали, что использование в рационе высокопродуктивных коров этой кормовой добавки по 0,5-1,0 кг в сутки в период раздоя повышает молочную продуктивность на 16,4%.

Разработаны способы хранения и контроля качества кормовых добавок. Приготовленные кормовые добавки нужно хранить в герметичной таре (крафт мешки) или бункере, в сухом, прохладном помещении не более 3-4 месяцев. Контроль их качества при хранении проводить по степени прогоркания жира. Нормативные показатели: кислотное число в пределах 2,0-2,5 мг/КОН г жира, перекисное число 4,3-5,0 ммоль активного кислорода/ кг жира.

Заключение. Анализ литературных данных и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяют рекомендовать кормовую добавку «Омегалён-1» в рационах и комбикормах всех видов животных в количестве 1-2% к массе концентратов.

Обогащённая добавка «Омегалён-2» предназначена для высокопродуктивных коров. Наиболее эффективное её применение в период раздоя (первые 110 дней лактации), когда у животных наблюдается повышенная потребность в обменной энергии и биологически активных веществах. В первой половине этого периода рекомендуется скармливать высокопродуктивным коровам по

1,0 кг «Омегалён-2», во второй – 0,5 кг в сутки. Добавка может вводится в кормосмеси или задаваться в кормушку. Для улучшения воспроизводительной способности и качества приплода кормовую добавку «Омегалён-2» следует скармливать коровам в сухостойный период по 0,3 кг на голову в сутки.

Список литературы

1. Влияние смеси экструдированной «Энерголен К-стандарт» на продуктивность коров в период раздоя. Отчет по НИР. Национальная академия наук Беларуси. 2014. С. 17.

2. Добриян Е.И. Функциональные молочные продукты, обогащённые ПНЖК семейства Омега-3 и Омега-6 //Е.И. Добриян, Е.А. Юрова, Н.А. Жижин // Молочная промышленность. -2013. -№11. -С. 45-46.

3. Радчиков В.Ф. Экструдированный пищевой концентрат в рационах молодняка крупного рогатого скота // В.Ф. Радчиков, С.Л. Шинкарева, В.К. Гурин и др. –Жодино, 2017. -118 с.

4. Зотеев В.С., Симонов А.Г., Кириченко А.В. Экструдированные семена льна масличного в кормлении телят // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. -2012. -№1. –С. 96-100.

5. Кистина А.А. Научно-практическое обоснование применения селено-содержащих препаратов в кормлении крупного рогатого скота: Автореф. дисс. Докт с.-х. наук. Саранск, 2011. – 40 с.

6. Прытков Ю.Н. Влияние селено-содержащих препаратов в рационах коров черно-пестрой породы на обмен веществ и молочную продуктивность / Ю.Н. Прытков, А.А. Кистина // Аграрный научный журнал. – 2018. -№1. –С. 31-35.

References

1. Vliyanie smesi ekstrudirovannoj «Energolen K-standart» na produktivnost' korov v period razdoya. Otchet po NIR. Nacional'naya akademiya nauk Belarusi. 2014. S. 17.

2. Dobriyan E.I. Funkcional'nye molochnye produkty, obogashchyonnye PNZHK semejstva Omega-3 i Omega-6 //E.I. Dobriyan, E.A. YUrova, N.A. ZHizhin // Molochnaya promyshlennost'. -2013. -№11. -S. 45-46.

3. Radchikov V.F. Ekstrudirovannyj pishchevoj koncentrat v racionah molodnyaka krupnogo rogatogo skota // V.F. Radchikov, S.L. SHinkareva, V.K. Gurin i dr. –ZHodino, 2017. -118 s.

4. Zoteev V.S., Simonov A.G., Kirichenko A.V. Ekstrudirovannye semena l'na i maslichnogo v kormlenii telyat // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. -2012. -№1. –S. 96-100.

5. Kistina A.A. Nauchno-prakticheskoe obosnovanie primeneniya selenosoderzhashchih preparatov v kormlenii krupnogo rogatogo skota: Avtoref. diss. Dokt s.-h. nauk. Saransk, 2011. – 40 s.

6. Prytkov YU.N. Vliyanie selenosoderzhashchih preparatov v racionah korov cherno-pestroj porody na obmen veshchestv i molochnuyu produktivnost' / YU.N. Prytkov, A.A. Kistina // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2018. -№1. –S. 31-35.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации.

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

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 ипользования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: july1931@yandex.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, vadim_688@bk.ru

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

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.

Zharikov Vadim – younger scientific employee of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 636.034
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-95-100

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

[1]Филиппова Ольга Борисовна

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

Реферат. *В продуктах, получаемых от сельскохозяйственных животных и птицы, законодательно установлен предельно допустимый уровень содержания различных поллютантов, к которым относится ряд металлов. С целью устранения избыточного количества металлов, попадающих в организм животных с кормами и водой, применяют специальные кормовые добавки – сорбенты. К таким сорбентам, которые пригодны для внутреннего применения в животноводстве, относится природный минерал глауконит. Сорбционная активность глауконита проявляется только по отношению к ионам металлов и соединениям с небольшой молекулярной массой. В работе представлены результаты экспериментального кормления дойных коров в течение 19 дней глауконитом Бондарского месторождения в качестве кормовой добавки-сорбента. Для исследований были сформированы три группы коров. Первая группа служила контролем. Вторая группа получала ежедневно энтеросорбент в составе концентрированных кормов по 50 г на голову, третья группа – по 100 г на голову. Определено содержание некоторых металлов в молоке коров (в золе сухого вещества). Использованы методы рентгенофлуоресцентного анализа и газожидкостной хроматографии. При отсутствии техногенного загрязнения кормов металлами глауконит не влияет на содержание в молоке меди, хрома, кобальта. Концентрации цинка, стронция, марганца и железа в молоке коров 2-й опытной группы через 19 дней скармливания энтеросорбента был ниже соответственно на 25, 11, 20 и 17% относительно показателей контрольной группы в тот же период. Соответственно у коров 3-й группы эти различия с контрольными значениями составили 5,4, 5,2, 9,6 и 2,2%.*

Ключевые слова: *глауконит, сорбент, молоко коров, металлы.*

PRACTICAL USE OF SORPTION PROPERTIES OF NATURAL MINERAL IN LIVESTOCK

[1]Filippova Olga

[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for the Use of Technology and Oil Products in Agriculture"

Abstract. *In products obtained from farm animals and poultry, the maximum permissible level of the content of various pollutants, which include a number of metals, is legally established. In order to eliminate the excess amount of metals entering the body of animals with feed and water, special feed additives – sorbents are used. Such sorbents, which are suitable for internal use in animal husbandry, include the natural mineral glauconite. The sorption activity of glauconite is manifested only in relation to metal ions and compounds with a small molecular weight. The paper presents the results of experimental feeding of dairy cows for 19 days with glauconite from the Bondarskoye deposit as a feed additive-sorbent. Three groups of cows were formed for research. The first group served as a control. The second group received 50 g per head of enterosorbent daily as part of concentrated feeds, the third group received 100 g per head. The content of some metals in cow's milk (in dry matter ash) has been determined. Methods of X-ray fluorescence analysis and gas-liquid chromatography were used. In the absence of technogenic contamination of feed with metals, glauconite does not affect the content of copper, chromium, cobalt in milk. The concentration of zinc, strontium, manganese and iron in the milk of cows of the 2nd experimental group after 19 days of feeding the enterosorbent was lower by 25, 11, 20 and 17%, respectively, relative to the indicators of the control group in the same period. Accordingly, in cows of the 3rd group, these differences with the control values were 5.4, 5.2, 9.6 and 2.2%.*

Keywords: *glauconite, sorbent, cow's milk, metals.*

Введение. Продукты, получаемые от сельскохозяйственных животных и птицы, прежде чем дойти до потребителя, проходят контрольное испытание химического и санитарно-биологического состава. В том числе законодательно установлен уровень содержания в них различных поллютантов, к которым относится ряд металлов. Получение экологически безопасной продукции в животноводческой отрасли достигается нормированием (контролем) содержания тяжелых металлов и их соединений в кормах и воде, потребляемых животными. Чаще всего уровень содержания металлов-поллютантов в кормовых растениях повышается в результате загрязнения почвы под влиянием антропогенных факторов.

В настоящее время в животноводстве повсеместно применяются кормовые добавки к основному рациону. Их функциональное значение различно и зависит от особенностей технологии кормления животных на конкретном животноводческом предприятии. В частности, с целью обезвреживания разнообразных токсинов, антипитательных веществ, металлов-поллютантов, попадающих в организм животных с кормами и водой, применяют специальные кормовые добавки – сорбенты. Принято сорбенты, используемые для внутреннего применения, называть энтеросорбентами.

Энтеральное использование сорбентов, как в гуманной, так и ветеринарной медицине позволяет ограничить и даже полностью исключить применение химиотерапевтических средств, в том числе и антибиотиков. В последнее время при многих заболеваниях и функциональных нарушениях в организме животных основным методом лечения становится энтеросорбция.

Материалом для сорбирующих добавок служат различные продукты переработки растительного сырья (лигнины, целлюлоза, активированный уголь, пектины), а также природные минералы (алюмосиликаты, цеолиты, глаукониты и другие). В нашей стране и в целом в мировой практике накоплен большой опыт применения природных глин для решения экологических задач очистки загрязнений окружающей среды [1]. В этом направлении ведутся многочисленные научные исследования, так как сорбенты природного происхождения используются повсеместно, что требует детального изучения их сорбционных свойств [2, 3]. Актуальна также всесторонняя оценка новых сорбционных материалов, используемых энтерально, в том числе анализ их возможности связывать продукты метаболизма для удаления из организма.

Глинистый минерал глауконит относится к группе алюмосиликатов осадочного происхождения и обладает уникальными сорбционными свойствами. Для минералов этой группы характерна одна физико-химическая особенность – в них одновременно протекают молекулярно-адсорбционные и обменные процессы. Кроме того, кристаллы глауконита обладают округлой формой, не содержат острых иглоподобных структур. Данное свойство является их преимуществом перед другими видами природных минералов, так как при приеме внутрь в качестве кормовой добавки не могут механически повредить слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта. Размер пор глауконита достаточно мал – около 4 ангстрем, поэтому его сорбционная активность проявляется только по отноше-

нию к ионам металлов и соединениям с небольшой молекулярной массой (метан, сероводород, аммиак). С органическими веществами большой молекулярной массы, например белками и витаминами, минерал не вступает в прямое взаимодействие.

Сорбционные характеристики глауконита Бондарского месторождения изучались в различных экспериментах [4, 5]. Согласно проведенным исследованиям минерал может использоваться при очистке воды и снижения уровня ее жесткости до нормативных требований. Установлено, что обменная ёмкость глауконита зависит от величины pH раствора. Например, в щелочной среде она увеличивается, а в кислой – снижается. При увеличении pH с 6,5 до 10 возрастает и способность катионов металлов к извлечению на 7-10% [6, 7].

Однако сдерживает повсеместное использование природных глин в качестве кормовых добавок их избыточная адсорбционная ёмкость, в результате которой снижается биодоступность металлов-нутриентов (макро- и микроэлементов), получаемых с кормом и необходимых для нормального функционирования организма животных. Следует также учитывать, что процесс сорбции в условиях пищеварительного тракта проходит в меняющейся среде и включает широкий спектр потенциальных сорбатов. В частности, в начальных отделах пищеварительного тракта присутствует слабокисло-нейтральная среда – pH 6,1-6,9, что обусловлено влиянием слюны, содержащей большое количество биохимических компонентов щелочной реакции. В желудке, в частности в рубце и сычуге жвачных животных, к которым относится крупный рогатый скот, реакция среды уже более кислая – pH 4,3-5,2, так как сычужный сок содержит свободную HCl в концентрации 0,12-0,46 %. Кроме того, в этих отделах образуется много органических веществ, обладающих кислой реакцией, и активно протекают процессы микробиальной ферментации. А в тонком отделе кишечника реакция среды опять меняется на слабощелочную (pH 8,2-8,7) благодаря выделению желчи, сока поджелудочной железы, в состав которого входят бикарбонаты.

Ионообменные свойства глауконита Бондарского месторождения при использовании его в качестве кормовой добавки позволяют ему взаимодействовать с ионами металлов, находящихся в пищеварительном тракте животных, скапливать их на свой активной поверхности и выводить из организма с экскрементами. Исследования, проведенные на телятах, показали, что применение концентрата глауконита увеличило выведение никеля на 60 %, свинца – на 36 %, цинка – на 18 %, меди – на 13 % [8, 9].

Цель исследований заключалась в экспериментальном обосновании использования природного минерала глауконита в качестве энтеросорбента в рационах дойных коров.

Материал и методы исследования. В работе использован концентрат глауконита (95 %) Бондарского месторождения Тамбовской области, модифицированный химическим способом (перевод в Na-форму). Подготовка глауконита осуществлялась в ёмкости объёмом 30 литров с установленной в ней мешалкой на электрическом приводе. Алгоритм процесса подготовки разработан профессором, доктором химических наук В.И. Вигдоровичем:

1) 1,5 кг 50%-го глауконита + 30 л 0,1М NaOH – перемешивание в течение 20 мин., промывка водой через фильтр.
2) Глауконит + 30 л 0,1М HCl – перемешивание в течение 20 мин.
3) Промывка водой через фильтр до уровня pH 5-6.
4) Глауконит + 30 л 3М NaCl – перемешивание в течение 60 мин., промывка водой через фильтр.
5) Сушка глауконита при температуре 65°С.

Для выполнения задач по практическому использованию модифицированного глауконита в качестве энтеросорбента была проведена серия научно-хозяйственных опытов на телятах и дойных коровах. В частности, на базе племенного завода АО «Комсомолец» Мичуринского района Тамбовской области в соответствии с требованиями по подбору аналогов, соблюдений условий кормления и содержания были сформированы 3 группы лактирующих коров симментальской породы: 1 – контрольная; 2 – I опытная; 3 – II опытная. В таблице 1 представлены условия проведения эксперимента и особенности кормления животных в группах.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта на дойных коровах по испытанию глауконита в качестве энтеросорбента

Группа	Период учета показателей, сутки	Период опытного скармливания, сутки	Особенности кормления
1 – Контрольная	35	-	Основной рацион
2 – Опытная I	35	19	Основной рацион + энтеросорбент по 50 г на голову в сутки
3 – Опытная II	35	19	Основной рацион + энтеросорбент по 100 г на голову в сутки

Основной рацион включал сено кострецовое, сенаж злаково-бобовый, силос кукурузный, шрот подсолнечниковый и зерновая смесь. Рационы животных, участвующих в эксперименте, по содержанию питательных веществ и их соотношению соответствовали рекомендованным нормам кормления коров живой массой 600 кг и среднесуточным удоем 24 кг.

Методы определения металлов в золе сухого вещества (СВ) кормов и молока: рентгенофлуоресцентный анализ с использованием спектрометра «Спектроскан Макс-GV»; газожидкостная хроматография – на хроматографе «Кристаллюкс 4000м», обработка хроматограмм – с использованием программного обеспечения «Net Chrom 2.1».

Статистическая обработка результатов экспериментов проведена с помощью программного приложения Microsoft Excel с использованием критерия Стьюдента (t). Различия между изучаемыми показателями рассматривались как статистически значимые, начиная с уровня вероятности ошибки $p \leq 0,05$.

Результаты исследования. Анализ кормов, используемых в основном рационе коров, показал дефицит содержания меди (< 5 мг/кг СВ), марганца и цинка (< 20 мг/кг СВ). Содержание железа обнаружено в пределах нормы (50-240 мг/кг СВ). Также не превышало предельно допустимые концентрации содержание некоторых металлов-поллютантов – никеля (до 8,1мг/кг СВ) и свинца (2-14мг/кг СВ) [10]. Содержание хрома (норма: 0-0,5 мг/кг СВ) и кобальта (норма: 0-2 мг/кг СВ) в большинстве кормов было незначительным, т.е. за пределами чувствительности метода определения

В таблицах 2-3 представлены результаты определения металлов в молоке коров до экспериментального кормления, в конце опыта и через 2 недели после его завершения. Анализ показал, что содержание в молоке таких ультрамикроэлементов, как хром, кобальт и никель имело большую вариабельность значений, которая могла быть обусловлена колебаниями концентрации этих элементов в кормах. Содержание меди в молоке коров опытных групп (2 и 3) в период скармливания сорбента было меньше относительно показателя контрольной группы на 20,6 и 5,4%. При этом различия в содержании этого элемента между группами в периоды без использования энтеросорбента достигали 8,6 и 29%, что указывало на случайный характер его выделения с молоком.

Таблица 2 – Содержание металлов Cr, Co, Ni и Cu в молоке (в золе)

Период опыта	Группа	Элементы, мкг/г			
		Cr	Co	Ni	Cu
(0) Перед опытом	1	21,8 ± 3,8	166,4 ± 8,3	51,7 ± 5,6	406,4 ± 21,2
	2	11,6 ± 2,4	175,6 ± 17,1	21,8 ± 1,1	406,3 ± 23,2
	3	35,9 ± 3,0	160,8 ± 13,4	34,8 ± 2,8	371,7 ± 18,6
(1) Через 19 дней кормления	1	28,9 ± 2,9	154,1 ± 4,3	28,7 ± 2,0	371,8 ± 8,4
	2	4,4 ± 1,6	155,1 ± 6,3	34,6 ± 2,5	295,1 ±10,6
	3	25,8 ± 6,9	143,7 ± 9,8	18,9 ± 0,8	321,5 ± 15,3
(2) Через 2 недели после окончания	1	31,7 ± 7,6	151,7 ± 19,8	84,7 ± 12,6	388,7 ± 39,2
	2	28,9 ± 3,6	124,2 ± 4,8	56,8 ± 6,1	351,6 ± 15,4
	3	7,0 ± 2,8	108,3 ± 6,7	22,2 ± 0,5	275,5 ± 8,5

Таблица 3 – Содержание металлов Zn, Sr, Mn и Fe в молоке (в золе)

Период опыта	Группа	Элементы, мкг/г			
		Zn	Sr	MnO	Fe_2O_3
(0) Перед опытом	1	1701,1 ± 90,9	894,1 ± 18,3	132,1 ± 7,6	4,23 ± 0,20

	2	1786,7 ±163,5	937,5 ± 17,8	179,8 ± 19,4	4,52 ± 0,33
	3	1714,8 ±138,5	915,5 ± 13,5	180,9 ± 8,3	4,08 ± 1,62
(1) Через 19 дней кормления	1	1665,3 ±188,3	939,4 ± 4,1	161,9 ± 3,9	4,03 ± 0,05
	2	1252,7 ± 60,3	836,1 ± 94,3	129,7 ± 4,3	3,33 ± 0,09
	3	1575,0 ± 85,9	890,4 ± 14,3	146,3 ± 12,0	3,45 ± 0,16
(2) Через 2 недели после окончания	1	1583,6 ±191,6	831,6 ± 84,4	202,3 ± 24,3	3,86 ± 0,36
	2	1313,9 ± 32,1	876,7 ± 22,5	136,6 ± 7,5	3,38 ± 0,09
	3	1164,8 ± 68,4	812,0 ± 15,1	127,2 ± 5,7	3,08 ± 0,32

Уровень содержания цинка, стронция, марганца и железа в молоке коров 2-й опытной группы через 19 дней скармливания энтеросорбента был ниже соответственно на 25, 11, 20 и 17% относительно показателей контрольной группы в тот же период, у коров 3-й группы – на 5,4, 5,2, 9,6 и 2,2% соответственно. Однако разница в содержании этих металлов между группами в начальный период также составляла 4,8 (цинк), 4,6 (стронций), 27 (марганец) и 10% (железо). Следует отметить, что содержание свинца в молоке коров находилось ниже предела чувствительности метода определения во все исследуемые периоды, что было обусловлено его низкой концентрацией в кормах.

Выводы. Таким образом, в условиях отсутствия техногенного загрязнения кормов металлами, как в нашем опыте, скармливание коровам кормового энтеросорбента, приготовленного из глауконита Бондарского месторождения, существенно не влияет на содержание в молоке таких металлов-нутриентов, как медь, хром, кобальт, марганец. При этом концентрации цинка и железа, а также стронция в молоке в результате использования природного минерала в рационах в течение 19 дней снизились на 2-25%.

Список литературы

1. Almeida Neto M.L., Veira M.G.A, da Silva M.G.C. Adsorption and desorption processes for copper removal from water using different eluente and calcined clay as adsorbent // Journal Water Process Engineering. 2014. Vol. 3. № 1. P. 90-97.

2. Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Пономарева Н.И. Изучение адсорбционной активности энтеросорбентов различной природы по отношению к катионам свинца // Вестник Воронежского ГУ. Серия: Химия, Биология, Фармация. 2016. № 1. С. 21-24.

3. Наноструктурный сапропель: изготовление, изучение физико-химических свойств и определение безопасных доз применения / В.О. Ежков, Р.Н. Файзрахманов, Е.В. Семакина, Д.В. Ежкова, А.М. Ежкова // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 172-176.

4. Использование глауконита Бондарского месторождения в качестве безрегенерационного сорбента при умягчении питьевых и котельных вод / В.И. Вигдорович, О.Б. Филиппова, Н.В. Шель, Л.Е. Цыганкова, И.В. Морщинина, А.И. Фролов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2015. Т. 20. Вып. 6. С. 1816-1829.

5. Глауконит, как экологически безопасный сорбент для умягчения питьевой и питательной котельной воды / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, О.Б. Филиппова, Н.В. Шель, М.Н. Есина, А.И. Фролов // Химическая технология. 2016. Т. 17. № 3. С. 129-137.

6. Effect of Indifferent Electrolyte Concentration, Sorbent Thermal Treatment, pH, and the Nature of Ligands on the Sorption of Cu(II) Cations by Glauconite from Nitrate Solution / V.I. Vigdorovich, A.V. Boldyrev, L.E. Tsygankova, A.A. Uryadnikov, M.N. Esina, N.V. Shel' // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2017. Vol. 51. № 5. P. 798-803.

7. Sorption of Metal Cations on Natural Sorbents: Current State, Problems and Prospects / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova, N.V. Shel', M.N. Esina, M.S. Osmutkov, Ya.A. Pustynnikov // Polymer Science. Series D. 2017. Vol. 10. № 4. P. 341-346.

8. Филиппова О.Б., Кийко Е.И., Маслова Н.И. Сорбция металлов на глауконите в условиях желудочно-кишечного тракта телят // Российский сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5. С. 44-48.

9. Enterosorbent for farm animals / O. Filippova, E. Kiyko, A. Zazulya, N. Maslova // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry IOP Conftrtnce Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 403. https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012142

10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

References

1. Almeida Neto M.L., Veira M.G.A, da Silva M.G.C. Adsorption and desorption processes for copper removal from water using different eluente and calcined clay as adsorbent // Journal Water Process Engineering. 2014. Vol. 3. № 1. P. 90-97.

2. Rjabinina E.I., Zotova E.E., Ponomareva N.I. Izuchenie adsorbcionnoj aktivnosti jenterosorbentov razlichnoj prirody po otnosheniju k kationam svinca // Vestnik Voronezhskogo GU. Serija: Himija, Biologija, Farmacija. 2016. № 1. S. 21-24.

3. Nanostrukturnyj sapropel': izgotovlenie, izuchenie fiziko-himicheskih svojstv i opredelenie bezopasnyh doz primenenija / V.O. Ezhkov, R.N. Fajzrahmanov, E.V. Semakina, D.V. Ezhkova, A.M. Ezhkova // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. № 20. S. 172-176.

4. Ispol'zovanie glaukonita Bondarskogo mestorozhdenija v kachestve bezregeneracionnogo sorbenta pri umjagchenii pit'evyh i kotel'nyh vod / V.I. Vigdorovich, O.B. Filippova, N.V. Shel', L.E. Cygankova, I.V. Morshhinina, A.I. Frolov // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2015. T. 20. Vyp. 6. S. 1816-1829.

5. Glaukonit, kak jekologicheski bezopasnyj sorbent dlja umjagchenija pit'evoj i pitatel'noj kotel'noj vody / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, O.B. Filippova, N.V. Shel', M.N. Esina, A.I. Frolov // Himicheskaja tehnologija. 2016. T. 17. № 3. S. 129-137.

6. Effect of Indifferent Electrolyte Concentration, Sorbent Thermal Treatment, pH, and the Nature of Ligands on the Sorption of Cu(II) Cations by Glauconite from Nitrate Solution / V.I. Vigdorovich, A.V. Boldyrev, L.E. Tsygankova, A.A. Uryadnikov, M.N. Esina, N.V. Shel' // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2017. Vol. 51. № 5. P. 798-803.

7. Sorption of Metal Cations on Natural Sorbents: Current State, Problems and Prospects / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova, N.V. Shel', M.N. Esina, M.S. Osmutkov, Ya.A. Pustynnikov // Polymer Science. Series D. 2017. Vol. 10. № 4. P. 341-346.

8. Filippova O.B., Kijko E.I., Maslova N.I. Sorbcija metallov na glaukonite v uslovijah zheludochno-kishechnogo trakta teljat // Rossijskij sel'skohozjajstvennyj zhurnal. 2019. № 5. S. 44-48.

9. Enterosorbent for farm animals / O. Filippova, E. Kiyko, A. Zazulya, N. Maslova // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry IOP Conftrtnce Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 403. https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012142

10. Il'in V.B. Tjazhelye metally v sisteme pochva-rastenie. – Novosibirsk: Nauka, 1991. 151 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Филиппова Ольга Борисовна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией технологии производства кормов и продуктов животноводства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: filippova175@yandex.ru

Author credentials

Affiliations

Filippova Olga - Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Feed and Animal Products Production Technology, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia, e-mail: filippova175@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 30.11.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.12.2021

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-100-105

ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА И КОРРОЗИИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В ПЕРИОД ДЛИТЕЛЬНОГО ПРОСТОЯ

[1]Остриков Валерий Васильевич
[1]Жерновников Дмитрий Николаевич
[1]Петрашев Александр Иванович
[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Нагдаев Владимир Константинович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Износ сельскохозяйственной техники и коррозия металла являются понятиями практически неразделяемыми. Появление следов коррозии на движущихся, трущихся деталях, как правило, увеличивает износ. Зерноуборочные комбайны, как известно, большую часть времени находятся в нерабочем состоянии. При этом, в процессе их вынужденного простоя, даже закрытые от контакта с атмосферой детали подвергаются коррозии, что в последствии значительно интенсифицирует износ. В двигатели зерноуборочных комбайнов, перед постановкой на хранение, заправляется специальное масло, которое способствует образованию плёнки, защищающей зеркальную поверхность гильз цилиндров от коррозии. При этом установлено, что существующие рабоче-консервационные масла, такие как К-17, практически не используются в сельскохозяйственном производстве. Также установлено, что по технологии защиты при внесении ингибиторов в работающее масло, загрязнения, присутствующие в моторном масле, в последствии провоцируют процесс окисления, что также, при прокручивании двигателя, приводит к износу. Представлен материал фотосъёмки стенок гильз цилиндров, подтверждающих образование следов «ржавчины» на стенках гильз цилиндров и последующее появление глубоких следов износа. ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывается ресурсосберегающая технология, получения рабоче-консервационных масел на основе очищенных отработавших моторных масел без их слива из картера двигателя с последующим внесением доступных реагентов, способных образовывать защитную плёнку.*

Ключевые слова*: снижение износа, рабоче-консервационное масло, коррозия, двигатель, гильзы цилиндров, зерноуборочный комбайн, анализ.*

PROBLEMS AND TASKS OF REDUCING WEAR AND CORROSION OF GRAIN HARVEST ENGINE PARTS DURING THE PERIOD OF LONG INACTIVITY

[1]Ostrikov Valery
[1]Zhernovnikov Dmitry
[1]Petrashev Alexander
[1]Erokhin Gennady
[1]Nagdaev Vladimir
[1]FSBSI All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture”

Abstract. *The wear of agricultural machinery and metal corrosion are practically inseparable concepts. The appearance of traces of corrosion on moving, rubbing parts, as a rule, increases wear. Combine harvesters are known to be out of service most of the time. At the same time, in the process of their forced downtime, even parts closed from contact with the atmosphere undergo corrosion, which subsequently significantly intensifies wear. Before storage, the engines of combine harvesters are filled with a special oil, which promotes the formation of a film that protects the mirror surface of the cylinder liners from corrosion. At the same time, it was found that existing working and conservation oils, such as K-17, are practically not used in agricultural production. It was also found that, according to the protection technology, when inhibitors are introduced into the operating oil, the contaminants present in the engine oil subsequently provoke the oxidation process, which also, when the engine is cranking, leads to wear. The material of photographing the walls of the cylinder liners is presented, confirming the formation of traces of "rust" on the walls of the cylinder liners and the subsequent appearance of deep traces of wear. FSBSI ARRIUPA is developing a resource-saving technology for obtaining working and conservation oils*

based on purified used engine oils without draining them from the engine crankcase, followed by the introduction of available reagents capable of forming a protective film.

Keywords: *wear reduction, working and conservation oil, corrosion, engine, cylinder liners, combine harvester, analysis.*

После завершения уборочных работ зерноуборочные комбайны ставят на хранение на срок 7-8 месяцев [1]. Комбайны, в лучшем случае, устанавливают на площадки под навесами, но, в большинстве случаев, на открытых площадках [2]. После постановки на хранение работавшее в двигателе моторное масло, как правило, не сливается. За период наработки 120-150 часов основные показатели моторных масел изменяются не столь значительно, то есть не являются браковочными. Вязкость масла находится в интервале 9-11 мм^2/с, содержание антиокислительных, моюще-диспергирующих, противоизносных и др. присадок находится в допустимых пределах, не достигнув значения по щелочному числу менее 3 мг КОН/г [3-4].

Загрязнённость масла в двигателях зависит, в большой степени, от технического состояния ДВС, нагрузки, температурных режимов работы двигателя и качества используемого топлива. Проведённый анализ свойств моторного масла в 5 зерноуборочных комбайнах Дон-1500, Дон-680 и «Енисей» АО ПЗ «Пригородный» после завершения сезонных работ и после постановки на хранение показал, что все масла имели различную степень загрязнённости. Значение в процентном выражении колебались от 0,5 до 1,1. Все масла имели чёрный цвет и содержали от 0,4 до 0,9% нерастворимого осадка (смол, асфальтенов). Несмотря на разницу показателей и известные закономерности [5], можно утверждать, что часть загрязнений, в том числе и смол, за время простоя (хранения) выпадут в осадок в картере двигателя, образуют отложения в системе смазки в целом.

До 90-х годов, при существовании в большинстве хозяйств систем подготовки техники к хранению, моторное масло сливалось, и проводилась консервация двигателя.По существующим нормативным документам после слива отработавшего масла в двигатель заправлялось рабоче-консервационное масло или в работавшее в двигателе масло добавлялись ингибиторы коррозии [6].

В соответствии с рекомендациями [7], после кратковременной работы двигателя на холостом ходу, защитное масло должно присутствовать на всей поверхности зеркала цилиндра и других деталях, не подвергающихся смазыванию в процессе работы [8]. После этого консервационные и консервационно-рабочие масла сливают. Консервационно-рабочие масла могут быть оставлены в картере на период хранения, и на них допускается временная работа тракторной техники [8].

Для получения консервационно-рабочих масел ингибиторы коррозии 5-10% АКОР-1, Мифол и др. на местах потребления смешивают с моторными (индустриальными, компрессорными) маслами.

Вместе с этим промышленность вырабатывает масло К-17 (ГОСТ 10877-76). Двигатели внутреннего сгорания консервируют без разборки: сливают моторное масло, отключают фильтры, прокачивают масло К-17, излишки масла удаляются [8]. Однако, данное масло (К-17) не является высоковостребованным и практически не применяется в сельскохозяйственных предприятиях [3].

Среди производителей масел и эксплуатационников техники существует мнение, что современные масла М-10Г$_2$, М-10ДМ обладают достаточно высокими антиокислительными и защитными свойствами, и после окончания сезона при постановке тракторов, комбайнов на хранение нет необходимости в проведении операции их слива и консервирования. Данный подход объясняется тем, что современные моторные масла обладают способностью создавать и удерживать на стенках гильз цилиндров достаточно устойчивую защитную плёнку, способную в течение 7-8 месяцев предотвращать коррозию. С данной позицией нельзя не считаться, однако, помимо способности моторных масел «удерживать» на поверхности гильз цилиндров защитную плёнку, они всё же подвержены окислению. А присутствующие в работавших маслах примеси, смолы, элементы кислот (как продукт взаимодействия серы с водой) не обеспечивают достаточно эффективную защиту стенок гильз цилиндров от коррозии.

На рисунке 1 а, б, представлены фотографии, демонстрирующие низкую эффективность защиты гильз цилиндров от коррозии и последствия, вызывающие образование «раковин» на стенках гильз цилиндров.

а)

а) следы коррозии и износа после хранения (на начало эксплуатации ДВС)

б)

б) следы глубокого износа (раковины) после длительной эксплуатации и отказа от проведения операции консервации ДВС

Рисунок 1. Микрофотографии гильзы цилиндра со следами коррозии и износа

Присутствие на стенках цилиндра следов коррозии (рисунок 1 а), в процессе эксплуатации, неизбежно повлияет на увеличение износа цилиндров, следов на «зеркальных» стенках цилиндров, что в последствии повлияет на эксплуатационные характеристики двигателя.

На рисунке 1 б можно наблюдать образование «раковин» как результат действия коррозии при последующей работе узла трения. В случаях отказа от операции антикоррозионной защиты перед постановкой на хранение.

Оценивая результаты анализа и наблюдений, можно говорить о том, что решение задач снижения износа техники при хранении зерноуборочных комбайнов является весьма актуальным.

В первом приближении можно утверждать, что существующая или существовавшая модель защиты двигателя от коррозии и износа ЦПГ предполагает использование не совсем эффективных и высокозатратных схем. Во-первых, внесение ингибиторов коррозии в работавшее масло является малоэффективным и не решает вопроса износа деталей ЦПГ, в частности гильз цилиндров, из-за присутствия в масле примесей и продуктов окисления. Во-вторых, использование специальных масел является высокозатратным мероприятием. В-третьих, не решает вопросов ресурсосбережения.

Заключение

На основании изучения состояния вопроса и анализа существующих консервационных, рабоче-консервационных масел ставятся задачи разработки ресурсосберегающей технологии и состава масла на основе отработанных моторных масел. При этом процесс защиты двигателя должен происходить без слива масла из двигателя комбайна, а вносимые в него ингибиторы коррозии должны быть доступными и эффективными. Решение проблемы удаления загрязнений из отработавшего масла перед внесением ингибиторов на основании известных способов очистки ФГБНУ ВНИИТиН облегчает решение проблемы. В первую очередь необходим разработка состава рабоче-консервационного масла с обоснованием его элементного состава.

Список литературы

1. Ерохин Г.Н. Техническая и эксплуатационная надёжность работы современных зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России. – 2014. - №3(9). – с. 71-75

2. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. №8. – с. 14-20

3. Остриков В.В. и др. Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники (анализ, теория, исследования и практика). Воронеж «Истоки», 2008. – 159с.

4. Остриков В.В., Петрашев А.И. и др. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Учебное пособие, Москва, Вологда, изд. Инфра – Инженерия, 2019. – 242 с.

5. Рабоче-консервационные смазочные материалы. – М. Химия. 1979. – 256 с.

6. Северный А.Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники. – М. ГОСНИТИ, 1993. – 233 с.

7. Гайдар С.М. Теория и практика создания средств защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. – М.: ФГНУ «Росинформатех», 2011. – 304 с.

8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник под редакцией В.М. Школьникова. М. Техинформ, 1999. – 596 с.

References

1. Erokhin G.N. Technical and operational reliability of modern grain harvesters // Science in Central Russia. - 2014. - No. 3 (9). - with. 71-75

2. Prokhorenkov V.D., Petrashev A.I. The practice of corrosion protection of agricultural machinery in modern conditions // Tekhnologiya metallov. 2000. No. 8. - with. 14-20

3. Ostrikov V.V. and others. Improving the efficiency of the use of lubricants in the units and assemblies of agricultural machinery (analysis, theory, research and practice). Voronezh "Istoki", 2008. - 159p.

4. Ostrikov V.V., Petrashev A.I. and other Fuel, lubricants and technical liquids. Study guide, Moscow, Vologda, ed. Infra - Engineering, 2019.- 242 p.

5. Working and conservation lubricants. - M. Chemistry. 1979.- 256 p.

6. Northern A.E. Preservation and corrosion protection of agricultural machinery. - M. GOSNITI, 1993 .-- 233 p.

7. Gaidar S.M. Theory and practice of creating means of protecting agricultural machinery from corrosion. - M.: FGNU "Rosinformatekh", 2011. - 304 p.

8. Fuels, lubricants, technical fluids. Range and application. Handbook edited by V.M. Shkolnikov. M. Tekhinform, 1999 .-- 596 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, email: viitinlab8@bk.ru.

Жерновников Дмитрий Николаевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, email: viitinlab8@bk.ru.

Петрашев Александр Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

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

Нагдаев Владимир Николаевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Zhernovnikov Dmitry – junior researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “AllRussian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:viitinlab8@bk.ru.

Petrashev Alexandr – Full Doctor of Technical 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: vitin-10.pet@mail.ru.

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

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 27.11.2021 Принята к публикации (Accepted): 18.12.2021

УДК 620.197
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-105-112

ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПРОТИВОКОРРОЗИОННУЮ ДОБАВКУ М-531

[1]Курьято Николай Алексеевич
[1]Дорохов Андрей Валерьевич
[1]Князева Лариса Геннадьевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Для сохранения сельскохозяйственной техники в работоспособном состоянии в нерабочие периоды традиционно применяют ингибиторную противокоррозионную защиту. Исследована эффективность составов на масляной основе с добавкой маслорастворимого ингибитора коррозии М-531 для защиты стали Ст3 от атмосферной коррозии. Составы готовили на основе индустриального, трансформаторного и моторного масел. Испытания проводили в термовлагокамере Г-4, в 0,5 М растворе NaCl, в камере солевого тумана. По результатам ускоренных коррозионных испытаний в термовлагокамере Г-4, наблюдается высокое защитное действие составов с концентрацией М-531 3-10 масс. %, которое составляет 97-100 %. Данные гравиметрических коррозионных испытаний в 0,5 М растворе NaCl свидетельствуют о том, что защитная эффективность масляных композиций заметно ниже, чем в термовлагокамере Г-4 из-за агрессивного действия Cl^--ионов, отсутствующих при испытаниях в термовлагокамере. Наихудшие результаты получены для композиций на основе индустриального и трансформаторного масел. Концентрации добавки М-531 3-5 масс%, рекомендованной разработчиком недостаточно для эффективной защиты стали в исследуемых условиях. При испытаниях в камере соляного тумана покрытий на стали Ст3 маслами, ингибированными 20 % М-531 обнаружено, что наименее подвержены коррозии образцы, покрытые составами на основе моторного масла (товарного и отработанного).*

Ключевые слова: *коррозия, консервационные составы, М-531, защитная эффективность, термовлагокамера, камера солевого тумана.*

PROTECTIVE EFFICIENCY OF OIL COMPOSITIONS CONTAINING ANTI-CORROSION ADDITIVE M-531

[1]Kuryato Nikolay
[1]Dorokhov Andrey
[1]Knyazeva Larisa
[1]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture"

Abstract. *Inhibitory anticorrosive protection is traditionally used to keep agricultural machinery in working order during non-working periods. The effectiveness of oil-based compositions with the addition of an oil-soluble corrosion inhibitor M-531 for protecting St3 steel from atmospheric corrosion has been investigated. The compositions were prepared on the basis of industrial, transformer and motor oils. The tests were carried out in a thermal moisture chamber G-4, in a 0.5 M NaCl solution, in a salt fog chamber. A high protective effect of compositions with a concentration of M-531 3-10 wt.%, Which is 97-100%, is observed according to the results of accelerated corrosion tests in a thermal moisture chamber G-4. The data of gravimetric corrosion tests in a 0.5 M NaCl solution indicate that the protective efficiency of oil compositions is noticeably lower than in a thermal moisture chamber G-4 due to the aggressive action of Cl - ions, which are absent during tests in a thermal moisture chamber. The worst results were obtained for compositions based on industrial and transformer oils. The concentration of the M-531 additive 3-5 wt% recommended by the developer is insufficient for effective steel protection under the conditions under study. During tests in a salt spray chamber of coatings on St3 steel with oils inhibited by 20% M-531, it was found that the samples coated with compositions based on engine oil (commercial and used) were the least susceptible to corrosion.*

Keywords: *corrosion, preservatives, M-531, protective efficiency, thermal moisture chamber, salt fog chamber.*

Введение. Борьба с коррозией в сельском хозяйстве, на которое приходится 10 % от общего металлофонда нашей страны, является довольно актуальной задачей. Чтобы противостоять атмосферной коррозии, используют различные методы замедления ее процессов. Это может быть изменение состава металла, его потенциала, пассивация, полная или частичная изоляция от воздействия стимуляторов коррозии и др. Для сохранения сельскохозяйственной техники в работоспособном состоянии в нерабочие периоды традиционно применяют ингибиторную защиту. Современный рынок ингибиторов достаточно велик и разнообразен, предлагаются консервационные материалы как отечественного производства, так и зарубежного, различающиеся по составу и свойствам, а также особенностям их использования. Широкое применение находят контактные консервационные материалы, среди которых известны составы на масляной основе и маслорастворимые ингибиторы коррозии [1-6]. Использование маслорастворимых ингибиторов целесообразно для уменьшения расходов материальных (например, из-за сокращения транспортных расходов) и энергетических ресурсов в технологических процессах противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники, так как позволяет приготавливать консервационные составы непосредственно перед их нанесением, с использованием масляной основы, имеющейся в хозяйствах. В качестве последней хорошо подходят ММО (масла моторные отработанные), как правило, имеющиеся у сельхозтоваропроизводителя, а в качестве добавок к ним отходы или побочные продукты химических и нефтехимических производств, включая продукты очистки отработанных масел [7-9]. Отработанные масла сами по себе обладают большей защитной эффективностью по сравнению со свежими и регенерированными маслами из-за накапливания в них в процессе эксплуатации продуктов окисления, повышающих защитные свойства масел за счет дополнительного синергического эффекта [7]. Кроме того, смолистые органические соединения, образующиеся в маслах, приводят к повышение вязкости и затруднению смывания масел с поверхности, а совместно с поверхностно-активными продуктами окисления и к дополнительному повышению защитного эффекта. Тем не менее, защитной эффективности только ММО недостаточно для защиты сельскохозяйственной техники при ее хранении на открытой площадке [7-9], необходимо дополнительно вводить в них маслорастворимые ингибиторы коррозии.

К другим методам для противостояния коррозии относится использование летучих ингибиторов (ЛИК) [5]. Недостатками контактных ингибиторов является затруднение их проникновения в труднодоступные места, куда, в свою очередь, ЛИК с легкостью попадают. ЛИК, испаряясь, до-

стигают поверхности металла и, адсорбируясь, надежно его защищают, проникая при этом через слои продуктов коррозии, в щели и зазоры. Но их использование возможно только хотя бы при частичной герметизации защищаемого пространства. Но из-за особенностей конструкционного строения техники и оборудования применение только контактных ингибиторов или только ЛИК не всегда эффективно в полной мере. Решением может стать использование составов на масляной основе с противокоррозионной добавкой, в которой скомбинированы летучий и контактный ингибиторы коррозии. Предполагается их взаимодополнение друг друга, что в свою очередь влияет на эффективность защиты техники и оборудования от коррозии.

Целью данной работы изучение защитной эффективности составов на масляной основе с добавлением противокоррозионной добавки М-531, которая заявляется производителем -компанией Cortec Corporation, USA (на территории России и стран СНГ официальный представитель – компания ООО «КОРТЕК РУС») как содержащая, наряду с масляным, летучий компонент, по отношению к углеродистой стали Ст3 [11]. По утверждению разработчика, ингибитор коррозии М-531 влагостоек, совместим с большинством нефтяных масел, обладает загущаюшей способностью (вязкость при снижении температуры от 100^0С до 40^0С возрастает более, чем в 10 раз), его рекомендуется использовать в концентрации 3-5 масс. % в маслах. Разработка консервационных составов на основе этого ингибитора и доступных в сельскохозяйственном производстве масел, в том числе некондиционных, является перспективной.

Методика эксперимента. Для изучения были приготовлены составы, в которых в качестве растворителя-основы использовали индустриальное масло И-20А, трансформаторное масло ГК, моторное масло М10$Г_2$к, товарное и отработанное (ММО), с добавлением М-531 концентрацией 3-10 масс. %. Покрытия наносили в ванне консервации, опуская в нее стальные образцы (Ст3) на 10 секунд, которые затем оставляли на воздухе в подвешенном вертикальном положении на 1 сутки для стекания избытка масляной композиции и формирования защитной пленки [6].

Коррозионные испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl (ГОСТ9.042-75), термовлагокамере Г-4 (ГОСТ 9.054-75). Для определения скорости коррозии использовали формулу (1), защитной эффективности – формулу (2)

$$K=\frac{\Delta m}{S\cdot\tau}, \quad (1)$$

где Δm - потеря массы образца, г; S – площадь поверхности, $м^2$; τ – длительность испытаний, часы.

$$Z = \frac{K_0-K_1}{K_0}\cdot 100\ \%, \quad (2)$$

где K_o, K_1 – скорости коррозии в отсутствие и при наличии пленки исследуемых составов.

Для проведения испытаний в камере солевого тумана (КСТ) был установлен следующий режим: 8 часов в солевом тумане EVCLIM- КСТ-108, который создавался с помощью распыления 5 %-ного раствора NaCl при температуре t = 40 °С и времени экспозиции 16 часов при закрытой дверце и отключенной камере. Периодически проводили визуальную оценку образцов на предмет появления продуктов коррозии на поверхности.

Результаты и обсуждение.

Результаты ускоренных коррозионных испытаний в термовлагокамере Г-4 (960 часов) показали (таблица 1), что из исследуемых масел наибольшим защитным действием ожидаемо обладает ММО (97 %). Приведенные данные демонстрируют достаточно высокое защитное действие и всех составов на основе индустриального, трансформаторного и моторных (товарного и отработанного) масел, которое составляет 97-100 % во всем исследуемом диапазоне концентраций М-531(3 - 10 масс. %).

По результатам гравиметрических коррозионных испытаний, защищенных покрытиями стальных образцов при продолжительности 336 час в 0,5 М растворе NaCl (таблица 2) защитная эффективность масляных композиций заметно ниже, чем в термовлагокамере Г-4. Причина, очевидно, заключается в агрессивном действии Cl^--ионов, отсутствующих при испытаниях в термовлагокамере.

Таблица 1 – Экспериментальные результаты исследуемых покрытий в термовлагокамере Г-4 на стали Ст3 при экспозиции 960 часов

Концентрация ингибитора, масс. %	Защитные свойства ингибированных масел							
	И-20А		ГК		М10Г2к		ММО	
	К, г/(м²·ч)	Z,%	К, г/(м²·ч)	Z, %	К, г/(м²·ч)	Z, %	К, г/(м²·ч)	Z, %
Контроль	0,0409		0,0409		0,0409		0,0409	
0	0,0188	54	0,0168	59	0,0294	28	0,0010	97
3	0,0005	98	0,0004	99	0,0011	97	0,0006	98
5	0,0004	99	0,0004	99	0,0004	99	0,0001	~100
7	0,0003	~100	0,0004	99	0,0004	99	0,0001	~100
10	0,0003	~100	0,0004	99	0,0003	~100	0,0001	~100

Только у неразбавленного в масле чистого М-531 защитная эффективность высокая, составляет 90 %. При использовании исследуемого ингибитора в качестве добавки, с ростом его концентрации во всех исследуемых маслах защитная эффективность составов возрастает, что подтверждают фотографии покрытий, содержащих 7-10 масс. % добавки М-531 после проведения испытаний (рисунок 1). Лучшие результаты получены в моторном масле (и в товарном, и в отработанном).

Таблица 2 – Защитная эффективность и скорости коррозии составов после испытаний в 0,5 растворе NaCl при экспозиции 336 часов

Концентрация ингибитора, масс. %	Защитные свойства ингибированных масел							
	И-20А		ГК		М10Г2к		ММО	
	К, г/(м²·ч)	Z, %	К, г/(м²·ч)	Z, %	К, г/(м²·ч)	Z, %	К, г/(м²·ч)	Z, %
Контроль	0,0414		0,0414		0,0414		0,0414	
0	0,0422	20	0,0418	С	0,0256	38	0,0240	42
3	0,0344	17	0,0406	2	0,0240	42	0,0248	40
5	0,0353	19	0,0340	18	0,0182	56	0,0252	39
7	0,0327	21	0,0326	21	0,0137	67	0,0215	48
10	0,0318	23	0,0309	25	0,0128	69	0,0202	51
100		90				90		90

Без покрытия | 7% М-531 в И20-А | 10% М-531 в И20-А | 7% М-531 в М10Г2к | 10% М-531 в М10Г2к

М-531 | 7% М-531 в ТМ | 10% М-531 в ТМ | 7% М-531 в ММО | 10% М-531 в ММО

Рисунок 1 - Внешний вид образцов стали Ст3, покрытых масляными составами после испытаний в 0,5 М растворе NaCl (336 час).

Для использования исследуемых составов на основе М-531 для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии безусловно нужно использовать более высокие концентрации маслорастворимого ингибитора коррозии, несмотря на рекомендации разработчика. Обычно на практике - это 15 – 20 масс.%.

Результаты испытаний стальных образцов, покрытых масляными композициями, ингибированными 20 масс. % М-531, в камере соляного тумана представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Внешний вид образцов после испытаний в камере солевого тумана

Кол-во часов	Покрытие			
	Без покрытия	20% М-531 в ММО	20% М-531 в И-20А	20% М-531 в М10Г2к
8				
16				
24				
32				
40				
48				

Полное время проведения испытания составило 48 ч. Образец без покрытия уже после восьми часов экспозиции в камере солевого тумана (КСТ) практических полностью подвержен коррозии. Пластины, покрытые 20% М-531 в ММО и 20% М-531 в М10$Г_2$к после 8 часов, не имеют следов

коррозии, на образце с покрытием на основе индустриального масла И20-А уже появляются первые очаги коррозии в верхней части и ребрах пластины. После 16 часов испытаний на пластинах с покрытиями 20% М-531 в ММО и 20% М-531 в М10$Г_2$к появляются отдельные незначительные очаги коррозии. С дальнейшей экспозицией в КСТ площадь подверженная коррозии увеличивается на всех образцах с покрытиями, особенно сильно это заметно на образце, покрытом композицией на основе масла И- 20А, вся площадь которого оказывается пораженной к 48 часам экспозиции. Наибольшую защитную эффективность при испытаниях в камере солевого тумана обеспечивают составы на основе отработанного моторного масла.

Заключение.

Исходя из результатов ускоренных коррозионных испытаний в 0,5 М растворе NaCl и термовлагокамере Г-4 составы, содержащие противокоррозионную добавку М-531 (7-10 мас. %) имеют высокую защитную эффективность по отношению к стали Ст3. В 0,5 NaCl наиболее эффективны оказались составы на основе моторного масла М10$Г_2$к. После испытаний в камере соляного тумана наименее были подвержены коррозии образцы, покрытые составом на основе ММО и М10$Г_2$к.

Список литературы

1. Vigdorovich, V.I., Tsygankova, L.E., Knyazeva, L.G., Shel, N.V. Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-Containing Corrosion Stimulators//Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2020, 56(4). Pp. 570–579.

2. Vigdorovich V. I., Shel N. V., Tsygankova L. E. Oil-based preservative materials for protection of copper against corrosion in atmospheres containing SO_2// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2015. V. 4. N.3. Pp.210-220.

3. Vigdorovich, V.I., Knyazeva, L.G., Tsygankova, L.E., Ostrikov, V.V., Petrashev, A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials// Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2019, 55(4), стр. 412–423

4. Петрашев А.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Остриков В.В., Вигдорович В.И. Защита от атмосферной коррозии отработанными маслами, ингибированными продуктами их очистки. Сообщение 5. Технологии получения и применения продуктов очистки отработанных масел// Практика противокоррозионной защиты. - 2006. - № 3 (41). - С. 38-43.

5. Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Доступные противокоррозионные материалы для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии//Практика противокоррозионной защиты. 2003. № 3 (29). С. 51-54.

6. Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Епифанцев С.С. Защита от атмосферной коррозии отработанными маслами, ингибированными продуктами их очистки. Сообщение 4. Защитная эффективность ингибированных ПООМ отработанных масел в условиях влагонасыщения// Практика противокоррозионной защиты. 2006. № 2 (40). С. 41-47.

7. Вигдорович В.И. Коррозия и защита металлов летучими ингибиторами в условиях животноводческих помещений: монография / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Л.Г. Князева и др..- Тамбов. Издательство Першина Р.В., 2019. - 185 с.

8. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. V. 10. N. 2. Pp. 551-561.

9. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д. Исследование эффективности составов на основе CORTEC VpCl-368 и CORTEC VpCl-369 для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники // Наука в центральной России. - 2019. - № 5. - С. 69-80.

10. Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Carriers of the protective effectiveness of used motor oils// Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2006. T. 42. N. 1. Pp. 35-38.

11. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д. Ингибирование коррозии отработавшими моторными маслами // Коррозия: материалы, защита. – 2010. - №10. – С. 25-30.

12. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kuriato N.A. Protective properties of oil compositions modified with Cortec VpCI-369 // JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES: «Advances in Composites Science and Technologies 2020» (Moscow, 20 ноября 2020). – Moscow: IOP Publishing Ltd, 2021. C. 012068. DOI: 10.1088/1742-6596/1990/1/012068

Cortec Rus - Высокоэффективная антикоррозионная присадка М-531. – URL: http://www.cortecrus.ru/ (дата обращения: 17.09.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

References

1. Petrashev A.I., Prohorenkov V.D., Knjazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Zashhita ot atmosfernoj korrozii otrabotannymi maslami, ingibirovannymi produktami ih ochistki. Soobshhenie 5. Tehnologii poluchenija i primenenija produktov ochistki otrabotannyh masel// Praktika protivokorrozionnoj zashhity. - 2006. - № 3 (41). - S. 38-43.

2. Vigdorovich V. I., Shel N. V., Tsygankova L. E. Oil-based preservative materials for protection of copper against corrosion in atmospheres containing SO2// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2015. V. 4. N.3. Pp.210-220.

3. Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Knjazeva L.G. Dostupnye protivokorrozionnye materialy dlja zashhity sel'skohozjajstvennoj tehniki ot atmosfernoj korrozii//Praktika protivokorrozionnoj zashhity. 2003. № 3 (29). S. 51-54.

4. Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D., Knjazeva L.G., Epifancev S.S. Zashhita ot atmosfernoj korrozii otrabotannymi maslami, ingibirovannymi produktami ih ochistki. Soobshhenie 4. Zashhitnaja jeffektivnost' ingibirovannyh POOM otrabotannyh masel v uslovijah vlagonasyshhenija// Praktika protivokorrozionnoj zashhity. 2006. № 2 (40). S. 41-47.

5. Vigdorovich V.I. Korrozija i zashhita metallov letuchimi ingibitorami v uslovijah zhivotnovodcheskih pomeshhenij: monografija / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, L.G. Knjazeva i dr..- Tambov. Izdatel'stvo Pershina R.V., 2019. - 185 s.

6. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. V. 10. N. 2. Pp. 551-561.

7. Knjazeva L.G., Dorohov A.V., Kur'jato N.A., Prohorenkov V.D. Issledovanie jeffektivnosti sostavov na osnove CORTEC VpCl-368 i CORTEC VpCl-369 dlja protivokorrozionnoj zashhity sel'skohozjajstvennoj tehniki // Nauka v central'noj Rossii. - 2019. - № 5. - S. 69-80.

8. Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Carriers of the protective effectiveness of used motor oils// Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2006. T. 42. N. 1. Pp. 35-38.

9. Knjazeva L.G., Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D. Ingibirovanie korrozii otrabotavshimi motornymi maslami // Korrozija: materialy, zashhita. – 2010. - №10. – S. 25-30.

10. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kuriato N.A. Protective properties of oil compositions modified with Cortec VpCI-369 // JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES: «Advances in Composites Science and Technologies 2020» (Moscow, 20 nojabrja 2020). – Moscow: IOP Publishing Ltd, 2021. S. 012068. DOI: 10.1088/1742-6596/1990/1/012068

11. Cortec Rus - Vysokojeffektivnaja antikorrozionnaja prisadka M-531. – URL: http://www.cortecrus.ru/ (data obrashhenija: 17.09.2021). – Rezhim dostupa: svobodnyj. – Tekst: jelektronnyj.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Курьято Николай Алексеевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: cska-sparta@yandex.ru.

Дорохов Андрей Валерьевич – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Kuryato Nikolay– Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: cska-sparta@yandex.ru.

Dorokhov Andrey – Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, email: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 27.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2021

УДК 621.9.047
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-112-120

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ

[1]Жачкин Сергей Юрьевич
[2]Пеньков Никита Алексеевич
[1]Краснова Марина Николаевна
[3]Стрункин Павел Владимирович

[1]Воронежский государственный университет
[2]ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[3]Воронежский политехнический техникум

Реферат. *Разработана кинематическая модель получения гальванического дисперсно-упрочненного композиционного покрытия. Она базируется на двух положениях: 1- упрочнение покрытия происходит в результате взаимодействия двух соседних зерен инструмента; 2- инструментальные зерна расположены на концентрических окружностях. Сделаны три допущения, характерные для любой кинематической модели: все кинематические соотношения рассматриваются в одной плоскости (торцевом сечении инструмента); абразивные зерна представляются в виде точек; исходная поверхность детали гладкая, шероховатость поверхности не учитывается. Представлен механизм определения характера размещения дисперсной фазы в формируемом осадке. Используя аппарат кинематики движения твердого тела, определены зависимости для скоростей деформации формируемого композиционного гальванического покрытия, характеризующие в значительной степени его поведение в пластической области. Установлено, что скорость деформации есть функция геометрических параметров внедряемого наполнителя, одним из показателей которого служит угол между касательной к контактной поверхности зерна и нормалью к инструменту. Определены углы входа наполнителя в покрытие, во многом задающие характер формируемой структуры гальванического осадка. Определены скорости деформации осаждаемого покрытия в различных направлениях, что служит значительным заделом в вопросе определения дальнейших пластических деформаций при упрочнении растущих слоев осадка.*

Ключевые слова: *контактная задача, гальванические покрытия, композиционные материалы, кинематика движения твердого тела.*

KINEMATIC MODEL OF OBTAINING DISPERSE-HARDENED COMPOSITE MATERIALS ON METAL MATRIX

[1]Zhachkin Sergey
[2]Pen`kov Nikita

[1]Krasnova Marina
[3]Strunkin Pavel
[1]Voronezh State Technical University
[2]VUNC VVS "VVA named after professor N.Ye.Zhukovsky and Yu.A. Gagarin"
[3]Voronezh Polytechnic College

Abstract. *A kinematic model has been developed for obtaining a galvanic dispersion-hardened composite coating. It is based on two positions: 1 - the hardening of the coating occurs as a result of the interaction of two adjacent grains of the tool; 2- instrumental grains are located on concentric circles. Three assumptions typical for any kinematic model are made: all kinematic relations are considered in one plane (end section of the tool); abrasive grains are represented as dots; the original surface of the part is smooth, the surface roughness is not taken into account. A mechanism for determining the nature of the distribution of the dispersed phase in the formed sediment is presented. The dependences for the strain rates of the formed composite galvanic coating, characterizing to a large extent its behavior in the plastic region, were determined using the apparatus of the kinematics of the motion of a rigid body, It was found that the deformation rate is a function of the geometric parameters of the introduced filler, one of the indicators of which is the angle between the tangent to the contact surface of the grain and the normal to the tool. The angles of filler entry into the coating have been determined, which largely determine the nature of the formed structure of the galvanic deposit. The rates of deformation of the deposited coating in various directions have been determined, which serves as a significant groundwork in determining further plastic deformations during the strengthening of the growing layers of the deposit.*

Key words: *contact problem, galvanic coatings, composite materials, kinematics of motion of a rigid body.*

Введение. При ремонте и восстановлении сельскохозяйственной техники большое внимание уделяется силовой гидравлической аппаратуре. Это связано с рядом особенностей. Во-первых, указанные узлы работают в крайне жестких условиях. При производстве уборочных работ частицы грунта и пыли адсорбируются на штоках гидроцилиндров, выступая в роли абразива, что способно привести к потере герметичности узла шток/втулка либо по причине досрочного выхода из строя манжет, либо по причине появления течи по поверхностному слою штока. Во-вторых, вне зависимости от причины потери герметичности гидроцилиндром, указанный дефект не может быть устранен заменой манжет и сальников, поскольку это не устраняет одной из сопутствующих причин течи рабочих сред – разветвленной сетки пор и трещин в поверхностном слое детали. Для устранения такого вида дефекта возможно использование метода нанесения дисперсно-упрочненных композиционных гальванических покрытий на основе хрома, который позволяет получать в формируемом осадке внутренние напряжения сжатия, препятствующие образованию пор и трещин в покрытии.

Для предсказания характера получаемой композиционной структуры необходимо учитывать механизм ее формирования. Механизм формирования гальванического дисперсно-упрочненного композиционного покрытия базируется на положениях кинематики твердого тела.

Предлагается кинематическая модель, которая базируется на двух положениях: 1) упрочнение покрытия происходит в результате взаимодействия двух соседних зерен инструмента; 2) инструментальные зерна разделены промежутками по окружности и по высоте, т. е. расположены на концентрических окружностях.

Первое положение означает, что кинематические соотношения должны получаться из анализа взаимного расположения траекторий двух зерен. Второе положение вытекает из дискретности поверхности инструмента, имеющего в поперечном сечении форму круга. Характеристиками дискретности выбраны расстояния между инструментальными зернами по двум координатам: по окружности и по нормали к ней. Первая названа расстоянием между зернами δ, вторая — разновысотностью двух режущих зерен H. Оба эти параметра представляют собой случайные величины.

Однако в уравнениях движения δ и H следует рассматривать как их средние значения — математические ожидания.

Разработка кинематической модели предполагает использование трех традиционных допущений [1–3, 5].

Первое допущение предполагает, что все кинематические соотношения строятся в одной плоскости. По этому допущению движение торцевой плоскости инструмента (оборудования, для нанесения дисперсно-упрочненных композиционных гальванических покрытий) и детали, на поверхность которой наносится покрытие, совпадают, следовательно, вектора скоростей инструмента и детали лежат в одной плоскости, и мы получаем плоскую кинематическая модель нанесения покрытий. Это значительно упрощает задачу, так как позволяет не учитывать третью координату.

Второе допущение предполагает представление абразивных зерен в виде точек. Так как, согласно первому допущению, нет необходимости учитывать поперечный размер зерна, его можно представить в виде любой плоской фигуры. К тому же, объектом исследования являются критерии, характеризующие работу зерен наполнителя, а не их геометрические параметры.

Третье допущение касается формы исходной поверхности детали. Очевидно, что в рамках первого допущения ее профиль можно представить в виде горизонтальной прямой линии или окружности. (при нанесении покрытий на плоские или цилиндрические поверхности соответственно). Следовательно, можно пренебречь исходной шероховатостью элементарного слоя покрытия между двумя последовательными проходами инструмента, по сравнению с глубиной внедрения частиц второй фазы. По третьему допущению предполагается, что глубина упрочнённого слоя значительно превосходит исходную шероховатость поверхности детали под покрытием. Это важно, так как не требует вывода или знания уравнения, описывающего поверхность покрываемой детали [5, 6].

Результаты и обсуждения. Следует отметить, что разнообразие форм поверхностей, подвергаемых нанесению покрытий, можно учесть путем введения эквивалентного радиуса [7]

$$R_э = \frac{R}{1 \pm \frac{R}{r}}, \qquad (1)$$

где r и R — радиусы детали и инструмента соответственно.

Знаки «+» и «-» соответствуют осаждению покрытий на наружные и внутренние поверхности. В случае постановки задачи на плоскости полагают: $r \to \propto$ и $R_э = R$. В дальнейшем изложении индекс опускается и под R понимается $R_э$.

Из общих положений теоретической механики известны уравнения движения материальной точки, расположенной на расстоянии R от мгновенного центра скоростей [8].

Представим их в параметрическом виде как уравнения координат точки, движущейся по циклоидальной кривой.

Пусть точки A и B — вершины двух соседних зерен наполнителя, отстоящие друг от друга на расстоянии δ по окружности и H по радиусу (рисунок 1).

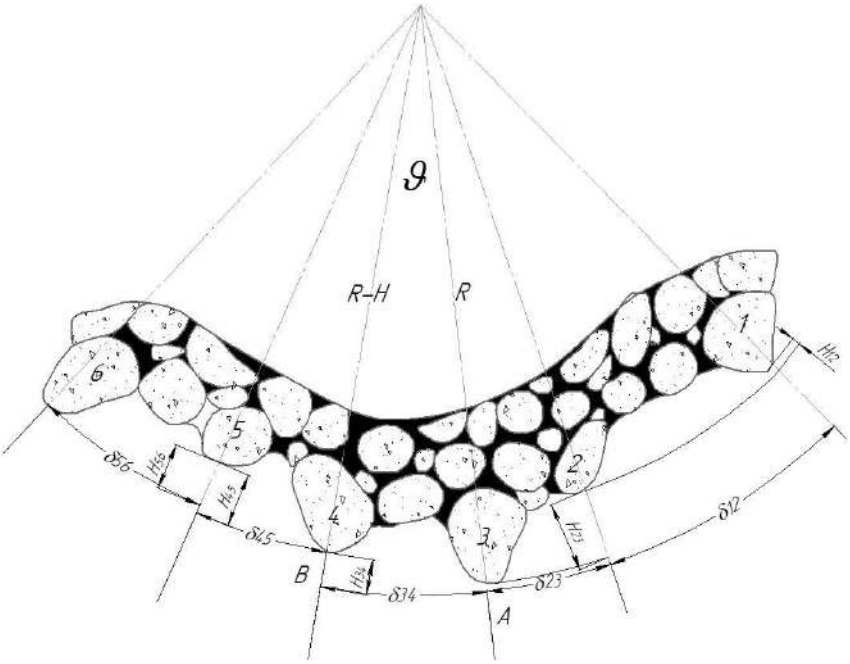


Рисунок 1 - Схема расположения материала второй фазы на поверхности инструмента

Тогда уравнения траектории, которую описывает точка А, имеют вид:

$$\begin{cases} z_A = r_0\phi_A + R\sin\phi_A; \\ y_A = r_0 + R\cos\phi_A. \end{cases}, \qquad (2)$$

где $r_0 = v_д/\omega$;

$v_д$ – скорость вращения детали;

ω - угловая скорость инструмента;

φ_A – переменный угол контакта с диапазоном $0 \le \varphi_{A} \le \varphi_{max}$;

$$\varphi_{max} = \sqrt{\frac{2t}{R}}\ .$$

Запишем аналогичное выражение для точки В. Отметив, что угловое расстояние между точками $\vartheta = \delta/R$, получим уравнения траектории точки В:

$$\begin{cases} z_B = r_0\left(\phi_B - \vartheta\right) + \left(R \pm H\right)\sin\phi_B, \\ y_B = r_0 + \left(R \pm H\right)\cos\phi_B. \end{cases} \qquad (3)$$

Сложение двух движений инструмента вращательного (с угловой скоростью ω) и поступательного (центра инструмента со скоростью v_u), приводит к перемещению центра инструмента и одновременно к его повороту на соответствующий угол [9, 10].

Геометрические условия контакта, определяемые глубиной деформации осажденного слоя, ограничивают рабочую часть траектории поверхностью детали. Взаимное расположение зерен определяется их расстоянием от центра инструмента. В зависимости от его величины можно выделить две принципиальные схемы расположения зерен: последующее зерно расположено на расстоянии R–H (последующее зерно утоплено относительно предыдущего) или R+H (последующее зерно выступает относительно предыдущего).

Будем рассматривать ту область изменения φ, которая определяется условием: наиболее выступающее зерно на инструменте не может углубиться более чем на величину деформирования элементарного слоя покрытия. Отсюда следует, что диапазон изменения угла поворота инструмента, который отсчитывается от оси Oy в направлении вращения инструмента, для более выступающей частицы наполнителя есть:

$$-\sqrt{\frac{2t}{R}} \le \varphi \le \sqrt{\frac{2t}{R}}$$

а для менее выступающего:

$$-\sqrt{\frac{2t}{R}\left(1-\frac{H}{t}\right)} \le \varphi \le \sqrt{\frac{2t}{R}\left(1-\frac{H}{t}\right)}$$

Системы уравнений (2) и (3), описывающие трохоиды, независимы друг от друга. Однако процесс деформирования растущего слоя покрытия определяется не отдельно каждой из этих трохоид, но и их взаимодействием. Характеристикой их взаимного расположения являются координаты некоторой точки С пересечения трохоид в рабочей части траекторий. Каждый член уравнений движения (2) и (3) имеет вполне определенный кинематический и геометрический смысл. Для наглядного представления их физического смысла перепишем полученные уравнения в безразмерном виде. Учитывая, что $\vartheta = \delta/R$ мало, получим:

$$\frac{z_A}{R} = \frac{v_Д \varphi_A}{v_K} + \varphi_A; \tag{4}$$

$$\frac{y_A}{R} = \frac{v_Д}{v_K} + 1 \tag{5}$$

$$\frac{z_B}{R} = \frac{v_Д \varphi_B}{v_K} + \varphi_B + \frac{v_Д}{v_K}\frac{\delta}{R} \pm \frac{H}{R}\varphi_B \tag{6}$$

$$\frac{y_B}{v_K} = \frac{v_Д}{v_K} + 1 \pm \frac{H}{R} \tag{7}$$

В выражениях (4) и (6) произведение $v_д\varphi = v_{вр}$ представляет собой проекцию скорости детали на нормаль к инструменту. Определим ее как скорость внедрения частиц наполнителя в покрытие. Первый член представляет собой отношение скоростей внедрения наполнителя и инструмента, характеризуя угол Δ между ними. Второй член φ – переменный угол контакта. Подобные два члена являются общими для уравнений обеих точек. Но в уравнении траектории точки В появляется два дополнительных члена, учитывающие различное положение этих точек в пространстве. Первый из них характеризует влияние углового расстояния между точками и представляет собой разность углов контакта $\varphi_A - \varphi_B$. Обозначим сомножитель $(v_Д/v_K)\delta = p$ и назовем его подачей на частицу наполнителя. Четвертый член определяет изменение угла контакта вследствие разновысотности зерен на величину подачи на зерно.

В выражениях (5) и (7) первый член $v_Д/v_K$ характеризует угол между скоростями инструмента и детали, влияние разновысотности учитывается третьим членом H/R. При $H=0$ уравнения совпадают.

Основой для анализа скорости деформации являются уравнения траектории [11, 12]. Скорость деформации представляет собой скорость абсолютного движения. Она вычисляется как первая производная по времени от функций (2) и (3).

Из теоретической механики известно, что при сложении двух движений вектор скорости абсолютного движения $\overline{v_p}$ представляет собой сумму вектора скорости мгновенного центра скоростей

$\overline{v_Д}$ и скорости движения точки относительно этого центра $\overline{v_K} = \omega \cdot R$. Ясно, что скорость деформации $\overline{v_p} = \overline{v_K} + \overline{v_Д}$ направлена по касательной к траектории движения [4] и ее величина для рабочей части траектории, где φ мало определяется как:

$$v_p = v_K \sqrt{(1+q)^2 \pm q\varphi^2}$$

$$q = \frac{v_Д}{V_K}$$

Анализ скоростей деформации заключается в разложении вектора скорости деформации по касательной и нормальной составляющим к инструменту, зерну и по траектории. Это дает возможность определить наиболее сложные для процесса компоненты скорости деформации и соотношения между ними (рисунок 2).

Проекция скорости деформации на нормаль к инструменту $v_{рпк} = v_Д = v_{вр}$ будет представлять собой скорость внедрения частиц второй фазы (наполнителя) в покрытие, а проекция скорости деформирования на касательную к инструменту $v_{р\tau к}$ при $v_Д << v_K$ почти не отличается от скорости круга $v_{р\tau к} \approx v_K \pm v_Д \approx v_K$.

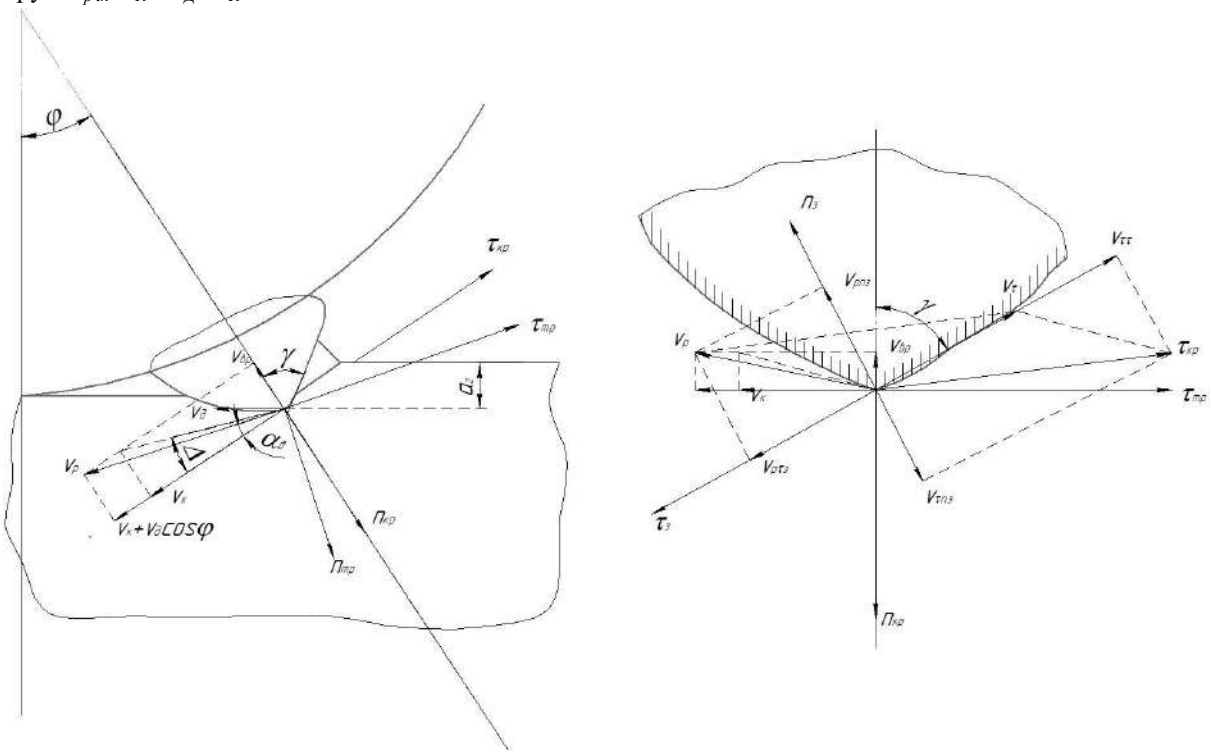


Рисунок 2 - Разложение скорости деформации:
а – к инструменту и траектории движения частицы наполнителя;
б – к инструменту и частице наполнителя

Соответствующие проекции скорости деформирования на касательную и нормаль к инструменту и зерну примут вид:

$$v_{p\tau к} = -\left(v_К + v_Д\right); \qquad v_{pnк} = -v_Д \phi,$$
$$v_{p\tau з} = \left(v_К + v_Д\right)\sin\gamma - v_Д \cos\gamma, \tag{8}$$
$$v_{pnз} = \left(v_К + v_Д\right)\cos\gamma - v_Д \sin\gamma.$$

Наибольший интерес с практической точки зрения представляет угол между касательными к инструменту и траектории движения зерна, который можно назвать углом входа наполнителя в покрытие $\alpha_Д$. Следует также отметить, что угол γ есть угол между касательной к контактной поверхности зерна и нормалью к инструменту, как показано на рис. 2. Исходя из этого рисунка следует, что угол между вектором скорости деформации и вектором скорости инструмента есть угол входа наполнителя в покрытие $\alpha_Д$, причем

$$tg\alpha_Д = \frac{v_Д \varphi}{v_К + v_Д} = \frac{v_{вр}}{v_К + v_Д} \tag{9}$$

Можно заметить, что в векторном треугольнике, катетами которого являются скорость инструмента и скорость деформации, угол Δ определяется как $tg\Delta = v_{вр}/v_к$, углы $\alpha_Д$ и Δ связаны соотношением:

$$\Delta = \left(1 + \frac{v_Д}{v_К}\right)\alpha_Д,$$

так как $v_Д << v_К$, то $\Delta \approx \alpha_Д$.

Проекции скорости резания на выбранные касательные и нормальные направления имеют конкретный физический смысл, так как механизм, описывающий напряженно-деформированное состояние осаждаемых слоев покрытия, определяется их совокупностью. Скорость движения по нормали к инструменту материала второй фазы $v_{вр}$ (скорость его внедрения в осаждаемое покрытие) определяет скорость деформации слоя осажденного материала по глубине. Проекция скорости движения на касательную к инструменту определяет скорость деформации слоя осажденного материала по направлению движения инструмента. Соотношение между этими проекциями определяется углом между ними Δ.

Практическая реализация возможности получения заданной скорости деформации покрытия определяется индивидуальными особенностями отдельных зерен наполнителя. Характеристикой этих особенностей служит угол между касательной к контактной поверхности зерна и нормалью к инструменту γ. Отсюда вытекает физический смысл проекций скорости деформации на касательную и нормаль к зерну наполнителя, которые представляют собой скорости внедрения зерна в покрытие и распространение деформации вдоль наносимого покрытия. Следует отметить, что величина угла γ зависит от формы, размера зерна и глубины его внедрения в покрытие a_z.

Из геометрических построений легко получить искомые зависимости:

$$\sin\gamma = 1 - m; \qquad \cos\gamma = \sqrt{2m - m^2}, \tag{10}$$

где $m = a_z/(0{,}5d)$, d – средний размер зерна наполнителя.

Выводы. Используя аппарат кинематики движения твердого тела, определены зависимости для скоростей деформации формируемого композиционного гальванического покрытия, характеризующие в значительной степени его поведение в пластической области. Установлено, что скорость деформации есть функция геометрических параметров внедряемого наполнителя, одним из показателей которого служит угол между касательной к контактной поверхности зерна и нормалью к инструменту. Определены углы входа наполнителя в покрытие, во многом задающие характер формируемой структуры гальванического осадка.

Список литературы

1. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер – М., 1966. – 300 с.
2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г.

Евсеев – Саратов, 1975. – 216 с.
3. Сегал В.М. Технологические задачи теории пластичности / В.М. Сегал – Минск, 1977. – 256 с.
4. Дзугутов М.Я. Напряжения и деформации при обработке металлов давлением / М.Я. Дзугутов – М.: Металлургия, 1974. – 280 с.
5. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин – М., 1975. – 400 с.
6. Бурова И. Г. Аппроксимация вещественными и комплексными минимальными сплайнами. Учебное пособие / И.Г. Бурова. – М.: Издательство СПбГУ, 2018. – 144 с.
7. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование / Н.Н. Голованов. – М.: СПб: БХВ, 2002. – 522 с.
8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов / С.М. Тарг – М.: Высш. шк., 2008. – 415 с.
9. 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.
10. 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.
11. Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей // Воронеж: ВГТУ, 2002. – 138 с.
Ли, Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали / Р.И. Ли // Клеи. Герметики. Технологии. – 2015. – №4. – С. 33–38.

References

1. Gantmaher F.R. Lekcii po analiticheskoj mekhanike / F.R. Gantmaher – M., 1966. – 300 s.
2. Evseev D.G. Formirovanie svojstv poverhnostnyh sloev pri abrazivnoj obrabotke / D.G. Ev-seev – Saratov, 1975. – 216 s.
3. Segal V.M. Tekhnologicheskie zadachi teorii plastichnosti / V.M. Segal – Minsk, 1977. – 256 s.
4. Dzugutov M.YA. Napryazheniya i deformacii pri obrabotke metallov davleniem / M.YA. Dzugu-tov – M.: Metallurgiya, 1974. – 280 s.
5. Malinin N.N. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N.N. Malinin – M., 1975. – 400 s.
6. Burova I. G. Approksimaciya veshchestvennymi i kompleksnymi minimal'nymi splajnami. Uchebnoe posobie / I.G. Burova. – M.: Izdatel'stvo SPbGU, 2018. – 144 c.
7. Golovanov N.N. Geometricheskoe modelirovanie / N.N. Golovanov. – M.: SPb: BHV, 2002. – 522 c.
8. Targ S.M. Kratkij kurs teoreticheskoj mekhaniki: Ucheb. dlya vtuzov / S.M. Targ – M.: Vyssh. shk., 2008. – 415 s.
9. ZHachkin, S.YU. Analiticheskaya ocenka svojstv dispersno-uprochnennyh gal'vanicheskih kom-po-zitnyh mnogoslojnyh pokrytij / S.YU. ZHachkin, N.A. Pen'kov, A.I. Krasnov, K.A. Manaenkov // Michurinsk: Vestnik MichGAU, 2015. – № 1. – S. 142–150.
10. 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.
11. ZHachkin S.YU. Holodnoe gal'vanokontaktnoe vosstanovlenie detalej // Voronezh: VGTU, 2002. – 138 s.
12. Li, R.I. Usloviya formirovaniya ravnomernogo polimernogo pokrytiya na naruzhnoj poverhno-sti vrashchayushchejsya cilindricheskoj detali / R.I. Li // Klei. Germetiki. Tekhnologii. – 2015. – №4. – S. 33–38.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Жачкин Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, 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.

Краснова Марина Николаевна – кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж, e-mail: serg24012@mail.ru.

Стрункин Павел Владимирович – преподаватель, Воронежский политехнический техникум, Россия, г. Воронеж, e-mail: snikishin24@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Zhachkin Sergey - Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, e-mail: zhach@list.ru.

Pen`kov Nikita - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory, VUNC VVS "VVA named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Russia, Voronezh, e-mail: myth_np_nikit@mail.ru.

Krasnova Marina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, e-mail: serg24012@mail.ru.

Strunkin Pavel - teacher, Voronezh Polytechnic College, Russia, Voronezh, e-mail: snikishin24@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 22.12.2021

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-120-130

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗНАЧЕНИЯ) СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА

[1]Завражнов Андрей Анатольевич
[1]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Ланцев Владимир Юрьевич
[1]Мишин Борис Сергеевич
[2]Шепелев Валерий Юрьевич
[2]Якушев Алексей Викторович

[1]ФГБНУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
[2]ПАО «Миллеровосельмаш»

Реферат. *В настоящей статье представлен сравнительный анализ функциональных характеристик сеялок точного высева (СТВ) различных марок и фирм-изготовителей на основе статистического исследования первичной информации, полученной из протоколов испытаний МИС. На основании проведенных сравнительных исследований (38 опытов) высевающих аппаратов (ВА) СТВ передовых фирм-производителей определено, что практически все СТВ обеспечивают заявленное отклонение от нормы высева в пределах 4 … 12 % на рабочих скоростях 7 … 12 км/час. При этом неравномерность высева в диапазоне рабочих скоростей 7 … 14 км/час не более 20% поддерживается в основном СТВ зарубежного производства, а именно: Vaderstad Tempo TPF-8; Caspardo SP Dorada 8F-70; SPP-8FS; Challenger CH 8108; KUHN Maxima 2TRS. Данные СТВ обеспечивают скорость (частоту) высева более 15 шт/с по сравнению с другими СТВ, обеспечивающие скорость высева не более 10 шт/с. Из СТВ отечественного производства наилучшие показатели по неравномерности высева имеют СТВ ТС-М 4150А/8000А (г. Воронеж) – 11,8%, а наихудшие – СТВ МС-8/12 (г. Миллерово) – 75,3%. По комплексному критерию «Скорость + точность» лидирует СТВ Vaderstad Tempo TPF-8. Так, при скорости 13,9 км/час отклонение от заданной нормы и неравномерность высева составляют соответственно 0,75% и 10,8%. Отличительной особенностью СТВ Vaderstad Tempo TPF-8 является использование ВА с системой дозировки семян избыточным давлением (ВА напорно-дискового типа). Анализ конструктивных особенностей сошниковой группы СТВ определил, что для работы на повышенных рабочих скоростях в основном используются сошники дискового типа. Анализ конструктивных особенностей привода ВА определил, что СТВ с высокими функциональными характеристиками используют электропривод. Вышеизложенное*

позволяет сделать вывод о необходимости коренной модернизации ВА СТВ МС-8/12, производства ПАО «Миллеровосельмаш» в направлении повышения точности изготовления ВА и использования электропривода.

Ключевые слова: сеялка точного высева, сравнительный анализ, характеристики, норма высева, неравномерность высева.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS (PURPOSE INDICATORS) OF PRECISION SEEDER

[1]Zavrazhnov Andrey
[1]Zavrazhnov Anatoly
[1]Lantsev Vladimir
[1]Mishin Boris
[2]Shepelev Valery
[2]Yakushev Alexey

[1]FSBEI HE Michurinsk State Agrarian University
[2]PJSC "Millerovoselmash"

Abstract. A comparative analysis of the functional characteristics of precision seed drills (PSD) of various brands and manufacturers based on a statistical study of the primary information obtained from the MIS test reports is presented in this article. Based on the comparative studies (38 experiments) of seeding devices (VA) of PSD of leading manufacturers, it was determined that almost all PSD provide the declared deviation from the seeding rate within 4 ... 12% at operating speeds of 7 ... 12 km / hour. At the same time, uneven seeding in the range of operating speeds of 7 ... 14 km / h is not more than 20% supported mainly by foreign-made PSD, namely: Vaderstad Tempo TPF-8; Caspardo SP Dorada 8F-70; SPP-8FS; Challenger CH 8108; KUHN Maxima 2TRS. These STB provide a seeding rate (frequency) of more than 15 pcs / s in comparison with other PSD, providing a seeding speed of no more than 10 pcs / s. Of the domestic PTS, the best indicators in terms of seeding irregularity have PSD TS-M 4150A / 8000A (Voronezh) - 11.8%, and the worst - PSD MS-8/12 (Millerovo) - 75.3%. PSD Vaderstad Tempo TPF-8 is the leader according to the complex criterion «Speed + Accuracy». So, at a speed of 13.9 km / h, the deviation from the set rate and uneven seeding are 0.75% and 10.8%, respectively. A distinctive feature of PSD Vaderstad Tempo TPF-8 is the use of VA with a system for dosing seeds with overpressure (VA of pressure-disc type). An analysis of the design features of the PSD coulter group determined that disc-type coulters are mainly used to work at higher operating speeds. Analysis of the design features of the VA drive determined that the PSD with high functional characteristics use an electric drive. The foregoing allows us to conclude that it is necessary to radically modernize the VA PSD MS-8/12, manufactured by PJSC Millerovoselmash, in the direction of increasing the accuracy of VA manufacturing and the use of an electric drive.

Keywords: precision seeder, comparative analysis, characteristics, seeding rate, uneven seeding.

Введение. В настоящее время посев пропашных и овощных культур осуществляется, так называемыми, сеялками точного высева (СТВ).

Российский парк СТВ достаточно разнообразен и представлен как отечественными, так и зарубежными образцами, которые различаются между собой конструкционным исполнением и техническим уровнем их изготовления.

В рамках выполнения НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей» одной из основных задач исследования являлась проведение сравнительного анализа функциональных характеристик (показателей назначения) отечественных и зарубежных СТВ.

Основной проблемой проведения сравнительного анализа является объективность и единообразие методик получения первичной информации.

Единственно возможным подходом получения объективной и адекватной первичной информации, по мнению авторов, является анализ протоколов испытаний машинно-испытательных станций (МИС), которые проводят испытания по единым методикам и нормативам системы АИСТ.

В настоящей статье представлен сравнительный анализ функциональных характеристик СТВ различных марок и фирм-изготовителей на основе статистического исследования первичной информации, полученной из протоколов испытаний МИС.

Цель исследования

Проведение сравнительного анализа функциональных характеристик (показателей назначения) сеялок точного высева (СТВ) отечественных и зарубежных фирм-изготовителей с дальнейшим выявлением наиболее перспективных вариантов, оценкой и выбором наилучших технических решений.

*****Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения №075-11-2019-041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ПАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКТР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

Условия, материалы и методы

Сравнительный анализ функциональных характеристик проводился для следующих сеялок точного высева (СТВ):

1. СТВ типа МС-8 и МС-12;
2. СТВ типа ТС-М 4150А и ТС-М 8000А;
3. СТВ типа СТП-12 «РИТМ-1М»;
4. СТВ типа SPP-8FS;
5. СТВ типа УПС-8-02 (VEGA-8);
6. СТВ типа Caspardo SP Dorada;
7. СТВ типа Maskar Maxi;
8. СТВ типа KINZE 3000, KINZE 3600, KINZE 3700;
9. СТВ типа СТВ KUHN Maxima;
10. **Сеялка точного высева типа Tempo TPF-8.**

Анализ проводился на основании изучения протоколов испытаний региональных машинно-испытательных станций (МИС) в период 2012–2019 гг. (табл. 1) [1,2, 3].

Таблица 1 – Список протоколов испытаний сеялок точного высева (СТВ)

/n	№ протокола	Наименование МИС	Наименование и марка машины. Фирма/страна-изготовитель
1.	01-12-12	Алтайская	СТВ универсальная УПС-8-02, Украина
2.	01-14-12	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorada 8F-70, Италия
3.	01-16-13	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorada 8F-70, Италия
4.	01-22-13	Алтайская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
5.	01-23-13	Алтайская	СТВ Caspardo MT 8-70, Италия
6.	01-37-13	Алтайская	СТВ прицепная Challenger CH 8108, США
7.	03-08-13	Владимирская	СТВ пропашная ТС-М 8000А
8.	03-12-13	Владимирская	СТВ пропашная SPP-8FS, Молдова
9.	03-14-13	Владимирская	СТВ универсальная УПС-8-02, Украина
10.	08-40-13	Поволжская	СТВ John deere DB-55, США
11.	08-101-13	Поволжская	СТВ пропашная SPP-8, Молдова
12.	08-89-14	Поволжская	СТВ KINZE 3700, США
13.	01-13-14	Алтайская	СТВ пропашная «Maskar Maxi», Италия
14.	03-10-14	Владимирская	СТВ пропашная МС-8

15.	11-01-14	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
16.	11-02-14	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
17.	11-03-15	Северо-Кавказская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
18.	01-08-15	Алтайская	СТВ пропашная «Maskar Maxi», Италия
19.	01-09-15	Алтайская	СТВ Gaspardo SP Dorada MT8-70, Италия
20.	03-16-15	Владимирская	СТВ Gaspardo SP8 Dorada, Италия
21.	08-21-15	Поволжская	СТВ KINZE 3600, США
22.	14-26-15	Центр.-Черноземная	СТВ Vaderstad Tempo TPF8
23.	03-08-17	Владимирская	СТВ Gaspardo SP/540 8 ROWS, Италия
24.	11-02-17	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
25.	11-04-17	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
26.	01-17-18	Алтайская	СТВ Gaspardo SP Dorado MT 8-70, Италия
27.	03-14-18	Владимирская	СТВ Gaspardo SP 8 R70 5800, Италия
28.	08-11-18	Поволжская	СТВ VEGA-8. ПАО «Эльворти». Украина
29.	12-10-18	Сибирская	СТВ пропашная ТС-М-4150А
30.	01-18-18	Алтайская	СТВ пропашная МС-8
31.	01-35-19	Алтайская	СТВ KUHN Maxima 2TRS, Франция
32.	03-12-19	Владимирская	СТВ ТС-М-4150А
33.	03-14-19	Владимирская	СТВ пропашная МС-8
34.	11-08-19	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
35.	11-10-19	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
36.	08-09-19	Поволжская	СТВ KINZE 3000, США
37.	08-13-19	Поволжская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
38.	08-30-19	Поволжская	СТВ УПС-8-02. ПАО «Эльворти». Украина

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. №740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (п.7. Машины для посева сельскохозяйственных культур) и СТО АИСТ 5.6-2018 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования» для проведения сравнительного анализа СТВ использовались следующие исходные показатели работы (функциональные характеристики):

1. Высеваемая культура;
2. Рабочая скорость;
3. Норма высева;
4. Шаг высева (распределение семян в рядке).

В соответствии с ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний» оценка и сравнительный анализ функциональных характеристик СТВ проводился по следующим сравниваемым показателям:

1. Отклонение от заданной нормы высева («О»):

2. Неравномерность высева («Н»), косвенно характеризуемая коэффициентом вариации распределения семян в рядке (шаг высева).

На показатель «О» в основном влияют конструкционное исполнение и технический уровень изготовления высевающих аппаратов (ВА) СТВ.

На показатель «Н» в основном влияют как конструкционное исполнение и технический уровень изготовления ВА, так и работа сошниковой группы высевающих секций (ВС) СТВ.

Обработка статистических массивов и представление результатов производилась с использованием стандартной программы EXCEL.

Результаты

Технические характеристики анализируемых СТВ представлены в табл. 2. Функциональные показатели работы представлены в табл. 3

Таблица 2 – Технические характеристики сеялок точного высева (СТВ)

№	Наимено-	Марка СТВ. Фирма-изготовитель

п/п	вание	СПП-12 «РИТМ-1М», ОАО «Белгородский завод РИТМ», г. Белгород	МС-8/12. ПАО «Миллеровосельмаш», г. Миллерово	УПС-8-02 ОАО «Червона зирка», Украина	SPP-8FS «MOLDAGROTEHNIKA», Республика Молдова	ТС-М 4150А/8000А, ЗАО «Техника-сервис», г. Воронеж	Caspardo SP Dorada 8F-70 «Gaspardo», Италия	Maskar Maxi «Mascar S.p.A», Италия	KINZE 3000/3600/3700 «KINZE MANUFACTURING», США	Challenger CH 8108, «AGCO», США	KUHN Maxima 2TRS KUHN S.A., Франция	John Deere DB-55, «JOHN DEERE», США	Vaderstad Tempo TPF-8, «VADERSTAD», Дания
1.	Класс (мощ-ность, л.с.) трак-тора	1,4	1,4-3	2-3	1,4	1,4-3	1,4	1,4	(310)	3	(120)	(310)	(205)
2.	Рабочая ширина захвата, м	5,6	5,6 8,4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6 11,2 16,8	5,6	11,2	16,8	5,6
3.	Количе-ство ВС, шт	8	8 12	8	8	8	8	8	8 16 24	8	16	24	8
4.	Ширина междуря-дий, см	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
5.	Тип ВА	вакуумно-дисковый											***
6.	Привод ВА	механический (от опорно-приводных колес)										эл/привод	
7.	Тип сош-ника	полозовидный			полозовидный, диско-вый			дисковый					

*** - напорно-дисковый ВА

Таблица 3 – Функциональные характеристики сравниваемых сеялок точного высева (СТВ)

’ /п	Марка СТВ	Культура	Рабочая скорость, км/час	Норма высева			Шаг высева				Источник по табл. 1
				норма заданная, шт/м	норма фактическая, шт/м	отклонение от нормы высева, %	шаг высева заданный, см	шаг высева фактический, см	стандартное отклонение, см	коэффициент вариации, %	
1.	Caspardo SP Dorada 8F-70	Подсолнечник	7,7	4,9	4,5	6,9	20,4	21,9	1,2	6,0	2
2.		Подсолнечник	7,7	4,0	3,6	10,0	25,0	27,8	17,4	63,0	3
3.		Подсолнечник	8,2	4,0	3,6	10,0	25,0	27,8	2,3	8,0	5
4.		Подсолнечник	8,1	4,0	3,6	10,0	25,0	27,8	2,3	8,0	19
5.		Подсолнечник	6,3	4,5	4,4	2,2	22,2	22,7	2,2	10,0	26
6.		Кукуруза	8,7	6,5	6,1	6,1	15,4	16,4	2,9	18,0	27
7.		Кукуруза	8,8	7,0	6,8	2,8	14,3	14,7	2,5	17,0	23

8.		Кукуруза	7,4	5,6	6	7,1	17,9	16,7	2,3	14,0	27
9.	SPP-8FS	Кукуруза	11,8	6,0	5,8	3,3	16,7	17,2	2,1	12,0	8
10.		Подсолнечник	8,1	4,5	4,2	6,6	22,2	23,8	2,5	11,0	11
11.	TC-M 4150A TC-M 8000A	Кукуруза	11,2	6,0	6,5	8,3	16,7	15,4	1,7	11,0	7
12.		Кукуруза	7,9	6,0	6,5	8,3	16,7	15,4	2,1	14,0	29
13.		Кукуруза	7,9	5,6	5,9	5,3	17,9	16,9	1,8	11,0	32
14.	СТП-12 «РИТМ-1М»	Подсолнечник	8,4	4,5	4,7	4,4	22,2	23,8	18,4	77,0	37
15.		Подсолнечник	8,3	3,8	4,0	5,9	26,0	24,6	12,0	49,0	17
16.		Подсолнечник	7,8	5,0	4,8	4,0	20,0	20,8	9,8	47,0	4
17.	УПС-8-02 (Vega-8)	Подсолнечник	8,3	4,8	4,3	9,9	20,7	23,0	13,0	56,0	1
18.		Кукуруза	6,9	6,0	6,5	8,3	16,7	15,4	9,4	61,0	9
19.		Подсолнечник	9,5	4,8	4,5	6,2	23,8	22,2	4,2	19,0	28
20.		Подсолнечник	9,0	4,8	4,5	6,2	19,2	20,4	19,9	98,0	38
21.	«MASKAR Maxi»	Подсолнечник	6,9	4,0	3,2	20,0	25,0	31,3	17,2	55,0	13
22.		Подсолнечник	7,9	4,0	3,7	6,5	25,0	26,7	17,2	64,0	18
23.	KINZE 3000/3600/3700	Подсолнечник	6,5	4,0	3,7	6,5	25,0	23,8	13,4	56,0	36
24.		Подсолнечник	8,4	5,0	5,4	8,0	20,0	18,5	11,8	64,0	21
25.		Подсолнечник	11,6	4,5	4,6	2,2	22,2	21,7	12,0	55,0	12
26.	Challenger CH 8108	Подсолнечник	11,5	4,0	3,5	12,5	25,0	28,6	2,7	9,0	6
27.	John Deere DB-55	Подсолнечник	11,5	4,2	3,8	9,5	23,8	26,3	12,0	46,0	10
28.	Vaderstad Tempo TPF-8	Подсолнечник	13,9	4,0	4,0	0,75	25,0	24,8	2,7	11,0	22
29.	KUHN Maxima 2TRS	Подсолнечник	11,1	3,5	3,1	11,4	28,6	32,3	1,2	4,0	31
30.	MC-8 MC-12	Подсолнечник	9,0	3,3	3,0	8,1	30,3	33,0	22,6	69,0	15
31.		Подсолнечник	9,1	5,2	5,0	3,8	19,2	20,0	15,5	77,0	24
32.		Кукуруза	8,9	7,0	6,5	7,1	14,3	15,4	10,0	65,0	34
33.		Подсолнечник	9,0	3,3	3,1	3,9	30,3	31,5	23,4	74,0	16
34.		Подсолнечник	5,5	5,2	4,9	5,7	19,2	20,4	18,3	90,0	25
35.		Кукуруза	6,4	5,8	5,4	6,8	17,2	18,5	14,4	78,0	35
36.		Кукуруза	8,9	7,0	6,5	7,1	14,3	15,4	12,3	80,0	14
37.		Кукуруза	9,1	7,0	6,5	7,1	14,3	15,4	12,3	80,0	33
38.		Подсолнечник	8,7	5,0	4,6	8,0	20,0	21,7	14,2	65,0	30

На рисунке 1 представлены гистограммы технологических характеристик (отклонение от заданной нормы «О» и неравномерности «Н» высева).

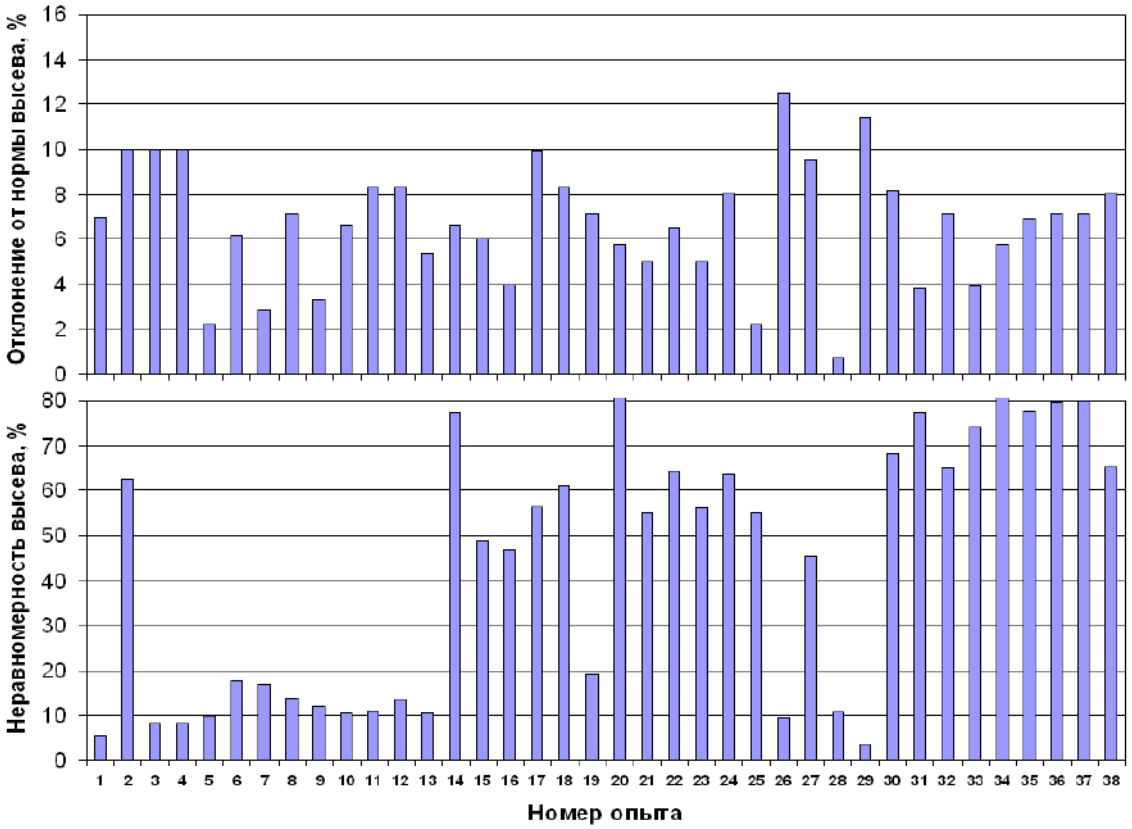


Рисунок 1 – Технологические характеристики (отклонение от заданной нормы и неравномерность высева) сравниваемых СТВ

На основании проведенного анализа технологических характеристик по каждому опыту (табл. 3 и рис. 1) в табл. 4 представлены обобщенные результаты оценки функциональных характеристик по типажу сравниваемых СТВ.

К расчетным показателям в таблицы 4 добавлен показатель скорость (частота) высева, характеризующий работу высевающих аппаратов (ВА) сравниваемых СТВ,

Результаты сравнительного анализа усредненных функциональных характеристик по типажу сравниваемых СТВ представлены на рис. 2 и 3.

Таблица 4 – Результаты оценки усредненных функциональных характеристик по типажу сравниваемых СТВ

№ опыта	Скорость сеялки, км/ч	Норма высева заданная, шт/пм	Норма высева фактическая, шт/пм	Скорость (частота) высева, шт/с	Отклонение от нормы высева, %	Неравномерность высева, %
СТВ Caspardo SP Dorada 8F-70						
1-8	7,9	5,1	4,8	10,5	6,9	17,9

СТВ SPP-8FS						
9-10	10,0	5,3	5,0	13,9	5,0	11,3
СТВ ТС-М 4150А/8000А						
11-13	9,0	5,9	6,3	15,8	7,3	11,8
СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»; СТВ УПС-8-02 ОАО «Червона зирка»						
14-20	8,3	4,8	4,8	11,1	6,8	58,2
СТВ «MASKAR Maxi»						
21-22	7,4	4,0	3,8	7,8	5,8	59,7
СТВ KINZE 3000/3600/3700						
23-25	8,8	4,5	4,7	11,5	5,1	58,4
СТВ Challenger CH 8108						
26	11,6	4,0	3,5	11,3	12,50	9,4
СТВ John Deere DB-55						
27	9,5	4,2	3,8	10,0	9,52	45,6
СТВ Vaderstad Tempo TPF-8						
28	13,9	4,0	4,0	15,4	0,75	10,8
СТВ KUHN Maxima 2TRS						
29	11,2	3,5	3,1	9,6	11,43	3,6
СТВ МС-8/12						
30-38	8,3	5,4	5,1	11,8	6,5	75,3

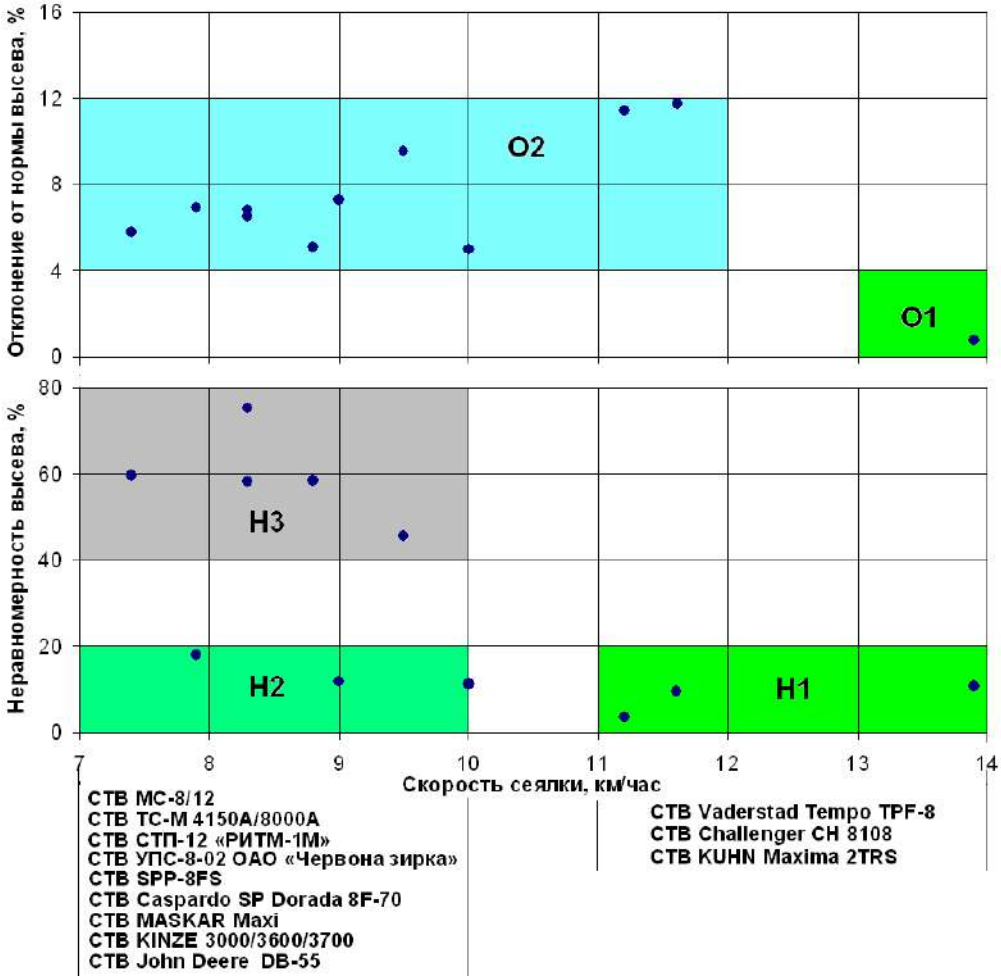


Рисунок 2 – Усредненные технологические характеристики
(отклонение от заданной нормы «О» и неравномерность высева «Н»)

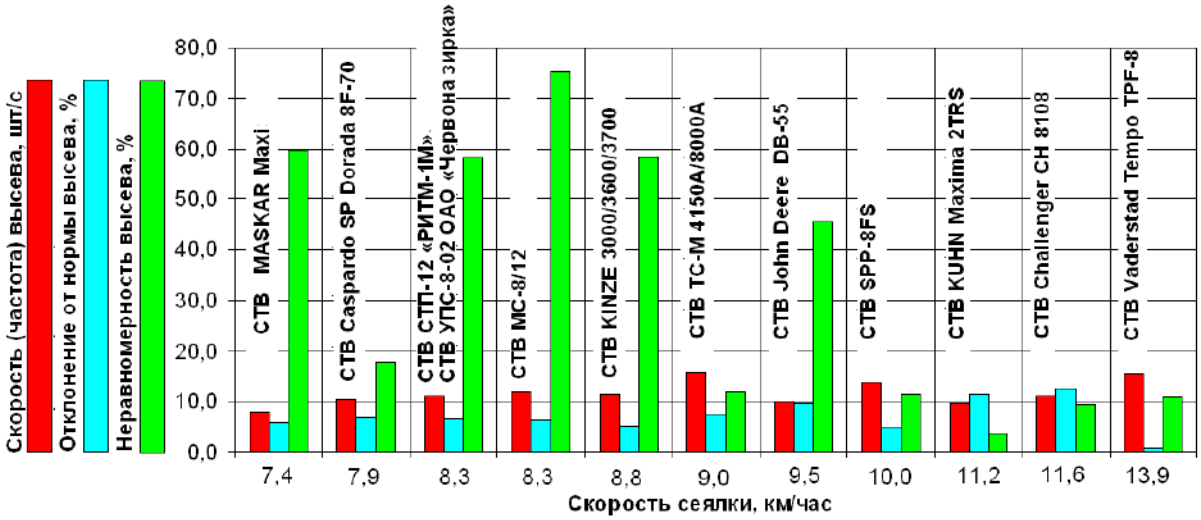


Рисунок 3 – Усредненные технологические характеристики (скорость высева, отклонение от заданной нормы и неравномерность высева)

Обсуждение и выводы

1. На основании проведенных сравнительных исследований (38 опытов) высевающих аппаратов (ВА) сеялок точного высева (СТВ) передовых фирм-производителей определено, что практически все СТВ обеспечивают заявленное отклонение от нормы высева в пределах 4 … 12 % (зона «О2» на рис. 2) на рабочих скоростях 7 … 12 км/час.

2. При этом неравномерность высева в диапазоне рабочих скоростей 7 … 14 км/час не более 20% поддерживается в основном СТВ зарубежного производства (зоны «Н1» и «Н2» на рис. 2), а именно: Vaderstad Tempo TPF-8; Caspardo SP Dorada 8F-70; SPP-8FS; Challenger CH 8108; KUHN Maxima 2TRS.

3. Данные СТВ обеспечивают скорость (частоту) высева более 15 шт/с по сравнению с другими СТВ, обеспечивающие скорость высева не более 10 шт/с (рис. 3).

4. Из СТВ отечественного производства наилучшие показатели по неравномерности высева имеют СТВ TC-M 4150A/8000A (г. Воронеж) – 11,8%, а наихудшие – СТВ МС-8/12 (г. Миллерово) – 75,3% (зона «Н3» на рис. 2).

5. По комплексному критерию «Скорость + точность» лидирует СТВ Vaderstad Tempo TPF-8 (зоны «О1» и «Н1» на рис. 2). Так, при скорости 13,9 км/час отклонение от заданной нормы и неравномерность высева составляют соответственно 0,75% и 10,8%.

6. Отличительной особенностью СТВ Vaderstad Tempo TPF-8 является использование ВА с системой дозировки семян избыточным давлением (ВА напорно-дискового типа).

7. СТВ с «классическими» вакуумно-дисковыми ВА, обеспечивающими работу в зонах Н1 и Н2 отличаются от остальных высокой точностью исполнения ВА (литьё и использование дополнительных высокотехнологичных элементов).

8. Анализ конструктивных особенностей сошниковой группы СТВ определил, что для работы на повышенных рабочих скоростях в основном используются сошники дискового типа.

9. Анализ конструктивных особенностей привода ВА определил, что СТВ с высокими функциональными характеристиками используют электропривод.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости коренной модернизации ВА СТВ МС-8/12, производства ПАО «Миллеровосельмаш» в направлении повышения точности изготовления ВА и использования электропривода.

Список литературы

1. Отчёт № 16-15-2016 (2010185). Сравнительный анализ технических и эксплуатационных характеристик сеялок зерновых, посевных комплексов и сеялок для посева пропашных культур по

результатам их испытаний на машиноиспытательных станциях за 2013-2015 годы. ФГБУ «Государственный Испытательный Центр». г. Солнечногорск. 2016 г.

2. Вестник испытаний сельскохозяйственной техники. Информ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015 – 2020 гг.

3. Протоколы испытаний зональных машинно-испытательных станций. ФГБУ «Государственный испытательный центр». [Электронный ресурс]. URL: http://sistemamis.ru.

References

1. Otchyot № 16-15-2016 (2010185). Sravnitel'nyj analiz tekhnicheskih i ekspluatacionnyh harakteristik seyalok zernovyh, posevnyh kompleksov i seyalok dlya poseva propashnyh kul'tur po rezul'tatam ih ispytanij na mashinoispytatel'nyh stanciyah za 2013-2015 gody. FGBU «Gosudarstvennyj Ispytatel'nyj Centr». g. Solnechnogorsk. 2016 g.

2. Vestnik ispytanij sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Inform. izd. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2015 – 2020 gg.

3. Protokoly ispytanij zonal'nyh mashinno-ispytatel'nyh stancij. FGBU «Gosudarstvennyj ispytanel'nyj centr». [Elektronnyj resurs]. URL: http://sistemamis.ru.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, начальник Инжинирингового центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: noc-inteh@yandex.ru.

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

Ланцев Владимир Юрьевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и основ конструирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru.

Мишин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподавать Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск

Шепелев Валерий Юрьевич - Временно исполняющий обязанности начальника Технолого-конструкторского отдела ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail:to@msm161.ru

Якушев Алексей Викторович - директор по развитию ПАО "МИЛЛЕРОВОСЕЛЬМАШ", Россия, г. Миллерово, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Andrey - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Engineering Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsk State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: noc-inteh@yandex.ru

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

Lantsev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Fundamentals of Design of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: lan-vladimir@yandex.ru

Mishin Boris - candidate of technical sciences, senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Shepelev Valery - Acting Head of the Technological and Design Department of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: to@msm161.ru

Yakushev Alexey - Development Director of PJSC "MILLEROVOSELMASH", Russia, Millerovo, e-mail: yakushev@umz-group.ru

Поступила в редакцию (Received): 03.12.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.12.2021

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 30.12.2021. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 13,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз.