

Адрес редакции, издательства  
и типографии:  
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11  
E-mail: rio.isa@list.ru

Подписной индекс в объединенном  
каталоге «Пресса России» 40567



Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-57239 от 12.03.2014 г.

Журнал включен в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

Ответственность за содержание статей  
несут авторы публикаций

Редактор С.В. Полтанова  
Вёрстка Е.Ф. Николаева  
Перевод Л.А. Новикова

Подписано в печать 29.09.2015 г.  
Дата выхода в свет 30.09.2015 г.  
Формат 60x84/8. Тираж 500 экз.  
Заказ № \_\_\_\_\_. Цена свободная.

© ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2015

ISSN 1817-5457

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

##### Главный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *А.И. Любимов*

##### Научный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *И.Ш. Фатыхов*

##### Члены редакционного совета:

*А.И. Костяев* – доктор экономических наук, доктор географических наук, профессор ФГБНУ Северо-Западный НИИ экономики и организации сельского хозяйства, академик РАСХН, академик РАН

*Р.А. Алборов* – доктор экономических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*А.К. Осипов* – доктор экономических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*Р.Р. Исмагилов* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ, член-корреспондент Академии наук Башкортостана

*А.М. Ленточкин* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*А.В. Федоров* – доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН Удмуртский научный центр УрО РАН

*Л.М. Колбина* – доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ УНИИСХ Россельхозакадемии

*Е.Н. Мартынова* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*Н.А. Балакирев* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА имени К.И. Скрябина, академик РАСХН

*Г.Н. Бурдов* – доктор ветеринарных наук, профессор, член-корреспондент Академии наук Удмуртской Республики

*Н.Н. Новых* – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*Е.И. Трошин* – доктор биологических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*Н.П. Кондратьева* – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*С.И. Юран* – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*В.В. Касаткин* – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*П.Л. Максимов* – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*А.К. Касимов* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

*В.С. Сергеев* – доктор биологических наук, профессор ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

#### EDITORIAL BOARD

##### Editor in chief

Doctor of Agricultural Sciences, Professor *A.I. Lyubimov*

##### Science editor

Doctor of Agricultural Sciences, Professor *I.Sh. Fatykhov*

##### Members of Editorial Board:

*A.I. Kostyaev* – Doctor of Economics, Doctor of Geographical Sciences, Professor North-West Research Institute of Agricultural Economy and Organization, Academician, member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, member of the Russian Academy of Sciences

*R.A. Alborov* – Doctor of Economics, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*A.K. Osipov* – Doctor of Economics, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*P.P. Ismagilov* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan

*A.M. Lentochkin* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*A.V. Fedorov* – Doctor of Agricultural Sciences, Udmurt Scientific Centre, Ural branch of Russian Academy of Sciences

*L.M. Kolbina* – Doctor of Agricultural Sciences, Udmurt Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences

*E.N. Martynova* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*N.A. Balakirev* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Moscow SAVMB-MVA named after K.I. Skryabin, member of the Russian Academy of Agricultural Sciences

*G.N. Burdov* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, corresponding member of the Academy of Sciences of the Udmurt Republic

*N.N. Novykh* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*E.N. Troshin* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*N.P. Kondratyeva* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*S.I. Yuran* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*V.V. Kasatkin* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*P.L. Maksimov* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*A.K. Kasimov* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

*V.S. Sergeev* – Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЮБИЛЕЙ

<b>П.Л. Максимов, Т.С. Копысова, А.Г. Иванов, О.С. Федоров.</b> Агроинженерному факультету – 60 лет . . . . .	3
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>С.П. Игнатьев.</b> Повышение безопасности изготавливаемой сельскохозяйственной техники . . . . .	7
<b>А.Г. Ипатов, Е.В. Харанжевский, С.М. Стрелков, С.Н. Шмыков.</b> Исследование триботехнических свойств металлополимерных покрытий системы «B83-MoS <sub>2</sub> -Ф4» . . . . .	14
<b>Н.Г. Касимов, В.И. Константинов, А.С. Кутявин.</b> Классификация рассадопосадочных машин по основным признакам функционирования . . . . .	20
<b>Г.А. Кораблев, П.Л. Максимов, В.И. Кодолов, Н.Г. Петрова, П.Б. Акмаров.</b> S-линии и энтропийные номограммы. . . . .	25
<b>П.Л. Максимов, А.Г. Иванов, А.А. Мохов, В.А. Петров.</b> Изучение возможностей автоматизации сельскохозяйственных работ . . . . .	32
<b>В.Ф. Первушин, А.Г. Левшин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов, Е.В. Шамаев, И.Ю. Лебедев.</b> Классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин . . . . .	38
<b>В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов, Е.В. Шамаев, И.Ю. Лебедев.</b> Применение стеклопластиковых прутков на элеваторах картофелеуборочных машин . . . . .	43
<b>А.А. Сметанин, Е.Ф. Стукалина, А.М. Сметанин.</b> Оценка природных ресурсов дистанционными методами в интересах Удмуртской Республики. . . . .	48
<b>В.М. Федоров, Н.Д. Давыдов, С.А. Юферов.</b> Исследование факторов регулирования угла опережения зажигания переподжатого двигателя. . . . .	54
<b>В.И. Ширококов, В.А. Баженов, А.А. Мякишев, А.Г. Бастригов.</b> Результаты предварительных исследований вибрационного отделителя примесей для дробилок зерна . . . . .	61

# CONTENTS

## ANNIVERSARY

<b>P.L. Maksimov, T.S. Kopysova, A.G. Ivanov, O.S. Fedorov.</b> 60 <sup>th</sup> Anniversary of Agricultural Engineering Faculty . . . . .	3
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

## TECHNICAL SCIENCES

<b>S.P. Ignatyev.</b> Modern farm equipment safety improvement . . . . .	7
<b>A.G. Ipatov, E.V. Kharanzhevsky, S.M. Strelkov, S.N. Shmykov.</b> Study of tribotechnical characteristics of metal-polymeric coatings of «B83-MoS <sub>2</sub> -F4» system . . . . .	14
<b>N.G. Kasimov, V.I. Konstantinov, A.S. Kutyavin.</b> Classification of planting machines according to main functioning characteristics . . . . .	20
<b>G.A. Korablev, P.L. Maksimov, V. I. Kodolov, N.G. Petrova, P.B. Akmarov.</b> S-lines and entropic nomograms. . . . .	25
<b>P.L. Maksimov, A.G. Ivanov, A.A. Mokhov, V.A. Petrov.</b> Possibilities of agricultural labor automation. . . . .	32
<b>V.F. Pervushin, A.G. Levshin, M.Z. Salimzyanov, N.G. Kasimov, E.V. Shamayev, I.Y. Lebedev.</b> Classification of rotary working elements of agricultural machines . . . . .	38
<b>V.F. Pervushin, M.Z. Salimzyanov, N.G. Kasimov, E.V. Shamayev, I.Y. Lebedev.</b> The usage of fiber-glass bars in the elevators of potato harvesters . . . . .	43
<b>A.A. Smetanin, E.F. Stukalina, A.M. Smetanin.</b> Natural resources assessment by remote sensing methods for the benefit of the Udmurt Republic . . . . .	48
<b>V.M. Fedorov, N.D. Davydov, S.A. Yuferev.</b> Regulation factors of ignition advance angle in overcompressed engine . . . . .	54
<b>V.I. Shirobokov, V.A. Bazhenov, A.A. Myakishev, A.G. Bastrigov.</b> The results of the preliminary studies of vibrational impurity trap for grain crushers . . . . .	61

УДК 378.663.096:631.171(470.51-25)

П.Л. Максимов, Т.С. Копысова, А.Г. Иванов, О.С. Федоров

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

## АГРОИНЖЕНЕРНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 60 ЛЕТ

*Агроинженерный факультет ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА начал свою историю в 1955 г., с открытием факультета механизации сельскохозяйственного производства в Ижевском сельскохозяйственном институте. Многие хозяйства республики получили долгожданных квалифицированных инженеров-механиков, а у института появилась возможность для комплектования профессорско-преподавательского состава факультета из собственных лучших выпускников. С образованием учебного полигона появилась возможность для централизованного управления процессом подготовки шоферов-любителей и трактористов-машинистов широкого профиля. Активное участие в становлении факультета принимали студенты, участвовавшие в создании стендов, лабораторных установок, монтаже оборудования, в строительстве лабораторного и инженерного корпусов, которые позволили существенно расширить производственные площади факультета и института. Было создано студенческое конструкторское исследовательское бюро, уникальные результаты работы которого послужили основой для кандидатских и докторских диссертаций. На кафедре физики была открыта единственная в нашей стране проблемная лаборатория по изучению магнитной восприимчивости различных типов почв. В настоящее время на факультете работают шесть кафедр, на каждой из них сформировались научные направления. Студенты старших курсов участвуют в научно-исследовательской работе и в конструкторско-технологических разработках кафедр, принимают участие в республиканских и всероссийских выставках, выполняют дипломные проекты и курсовые работы на реальном материале. Выпускники факультета работают во многих областях Российской Федерации и в других странах, решая свою главную задачу по увеличению производства сельскохозяйственной продукции.*

**Ключевые слова:** ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА; агроинженерный факультет; история; научно-исследовательская работа; преподавательская деятельность.

В 1955 г. по просьбе Правительства Удмуртской Республики в ИЖСХИ был открыт факультет механизации сельскохозяйственного производства. В этом году на первый курс было принято 50 студентов. В 1957 г. набор студентов на первый курс составил 125 человек, была введена должность декана. Первым деканом факультета был избран доцент Г.А. Кургузкин. Количество преподавателей и контингент студентов позволили сформировать уже три кафедры: физики и высшей математики во главе с А.А. Лукшиным, тракторов и технологии металлов – во главе с Г.А. Кургузкиным и сельскохозяйственных машин – во главе с Н.П. Жуковским.

В 1960 г. состоялся первый выпуск 49 инженеров-механиков. Многие хозяйства республики получили долгожданных квалифицированных инженеров-механиков, а у института появилась возможность для комплектования профессорско-преподавательского состава факультета из собственных лучших выпускников.

Формирование факультета в основном завершилось в 1960-61 гг. К этому времени на факультете были образованы восемь кафедр: физики (заведующий кафедрой А.А. Лукшин, штат 7 человек); механики и высшей матема-

тики (М.М. Зверьяев, 9 чел.); деталей машин и графики (Ю.И. Боченков, 7 чел.); тракторов и автомобилей (Г.А. Кургузкин, 6 чел.); технологии металлов и ремонта машин (К.Я. Колесниченко, 8 чел.); эксплуатации машинно-тракторного парка (М.И. Фастунов, 4 чел.); электрификации и механизации животноводческих ферм (В.В. Фокин, 6 чел.); сельскохозяйственных машин (Н.П. Жуковский, 6 чел.).

В 1963 г. на должность декана был избран К.Я. Колесниченко. С 1963-64 учебного года была введена новая система нумерации студенческих групп (311, 312, 321...325). Все приказы, касающиеся жизни и учебы студентов, стали издаваться по факультету. Для обучения студентов практическим навыкам по управлению тракторами и комбайнами на факультете был образован учебный полигон во главе с выпускником факультета А.Ф. Овечкиным. Таким образом, появилась возможность для централизованного управления процессом подготовки шоферов-любителей и трактористов-машинистов широкого профиля. Студентам стали выдавать соответствующие удостоверения.

В 1960-70-е гг. некоторые студенты были оставлены работать на факультете в качестве преподавателей, многие из них затем поступи-

ли в аспирантуру вузов страны, а затем и защитили кандидатские диссертации (В.П. Беркутов, Ю.Л. Васильченко, Ж.К. Гончаров, Н.М. Захаров, Н.З. Лебедев, Н.Н. Москвин, Р.И. Останин, А.В. Поздеев, Н.Г. Первушин, Ю.И. Сунцов, С.М. Чурин).

Кафедры продолжали совершенствовать учебно-методическую работу, приобретали недостающее оборудование, лабораторные установки. Под руководством преподавателей активное участие в становлении факультета принимали студенты. Они изготавливали наглядные пособия, плакаты, макеты, стенды, лабораторные установки, монтировали поступающее лабораторное оборудование. К двухэтажному корпусу факультета с помощью студентов были пристроены спортивный зал и лабораторный корпус, которые позволили существенно расширить производственные площади факультета и института. На кафедре физики открылась проблемная лаборатория по изучению магнитной восприимчивости различных типов почв. Она была единственной в нашей стране.

В 1969-70 учебном году деканом факультета стал доцент В.И. Логунов, заведующий кафедрой высшей математики и механики.

С 1970 по 1973 г. деканом факультета работал доцент В.Г. Власов. В этот период шло активное строительство нового учебного корпуса для факультета, начатое еще в 1968 г. В связи с этим с 1971 г. прием на первый курс был увеличен до 175 человек. К 1973 г. общее число студентов на факультете составило более 700 человек.

В 1973 г. деканом факультета вновь был избран доцент К.Я. Колесниченко, заведующий кафедрой технологии металлов и ремонта машин.

Жизнь факультета в 70-е годы характеризовалась тем, что кафедры готовились к переезду в новый учебный корпус, изыскивались средства и возможности для приобретения современного лабораторного оборудования, машин и механизмов, тракторов и автомобилей. Наконец, в 1975-76 гг. началось перемещение кафедр в новое здание, которое сулило простор и невероятные удобства по сравнению с тем, что было. В 1977 г. было завершено строительство общежития для студентов факультета. Они стали жить в комнатах по 2-3 человека, а не по 5-10, как это было раньше.

В 1978 г. по инициативе декана и доцента Л.М. Максимова на факультете было создано студенческое конструкторское исследователь-

ское бюро (СКИБ), сыгравшее в дальнейшем большую роль в развитии творческой инициативы студентов. Под руководством Л.М. Максимова, ныне доктора технических наук, профессора, они изготавливали уникальные конструкции рабочих органов сельскохозяйственных машин, проводили их испытания в производственных условиях, участвовали в разработке различных конструкций малогабаритных корневых агрегатов комбайнов. Полученные результаты они использовали при курсовом и дипломном проектировании, докладывали на студенческих конференциях. Результаты работы СКИБ являются настолько богатыми и уникальными, что служат основой для кандидатских и докторских диссертаций.

В этом году были образованы новые кафедры: ремонта машин во главе с доцентом К.Я. Колесниченко, технологии конструкционных металлов во главе с доцентом С.М. Стрелковым, теоретической механики во главе с доцентом Ю.И. Сунцовым, сопротивления материалов во главе с доцентом В.П. Беркутовым.

К 1980 г. почти все хозяйства республики были обеспечены инженерными кадрами. Наличие инженерного корпуса позволило коренным образом изменить положение дел в хозяйствах АПК.

Если в период ликвидации МТС в колхозах и совхозах республики не было ни одной типовой ремонтной мастерской, то в течение десяти лет они были построены в 227 хозяйствах, а к началу реорганизации колхозов и совхозов их стало 311. Кстати, в их строительстве принимали активное участие строительные отряды студентов института.

Наряду с этим в республике развивалась ремонтная база. Было построено 4 ремонтных завода, 12 специализированных мастерских, 18 мастерских общего назначения и 25 станций технического обслуживания. Все это положительно сказалось на количестве и качестве ремонта сельскохозяйственной техники. Если в 1961 г. было отремонтировано 2530 тракторов, 408 комбайнов, 1372 автомобиля, то к концу 80-х годов количество отремонтированной техники возросло: тракторов – в 2,5 раза, комбайнов – в 5 раз, автомобилей – в 3 раза, различных двигателей – в 10 раз больше, чем за предыдущий период. Инженерные службы хозяйств республики организовали технически грамотную эксплуатацию МТП, навели порядок в нефтехозяйствах и заправочных станциях.

С 1981 по 1984 г. деканом факультета работал доцент Л.М. Максимов, а с 1984 по 1998 г. – доцент Ю.И. Сунцов.

С началом перестроечного периода в стране стал меняться и учебный процесс. Кафедры изыскивали и апробировали новые формы проведения занятий, приемы экзаменов и зачетов. На кафедрах стали появляться средства технического обучения (ТСО) в виде кинопроекторов, телевизоров, обучающих и контролирующих машин и аппаратов, компьютерной техники.

В 2000-2001 учебном году при поддержке проректора по экономическим вопросам С.Е. Селифанова на факультет МСХ были закуплены современные компьютеры, которыми оснащена специализированная лаборатория.

В период 2003-2004 и 2004-2005 учебных годов было проведено обучение двух групп преподавателей по программе САПР «Компас-График». Полученные знания преподаватели стали передавать студентам, это сразу сказалось на качестве выполнения курсовых и дипломных работ.

В 1993 г. был проведен первый набор на специальность «Механизация переработки сельскохозяйственной продукции».

9 марта 1995 г. приказом ректора на факультете была организована кафедра МПСХП, заведующим которой был назначен В.В. Касаткин.

1 декабря 1996 г. на базе факультета механизации сельского хозяйства и при огромной помощи декана ФМСХ Ю.И. Сунцова открылся факультет механизации и переработки сельскохозяйственной продукции. В состав нового факультета входило 3 кафедры: МПСХП, «Процессы и аппараты», «Технология конструкционных материалов».

Первым деканом факультета МПСХП был избран И.Н. Скурыгин, а его приемником в 1998 г. стал П.Л. Максимов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин.

В 2003 г. на факультете МСХ проведен набор на новую специальность «Технология обслуживания и ремонта машин».

В 2005 г. на факультете МПСХП открыта новая специальность «Технология продукции общественного питания».

#### **Сведения об авторах:**

**Максимов Павел Леонидович** – доктор технических наук, профессор, декан агроинженерного факультета. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 59-24-23).

**Копысова Татьяна Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования пищевых и перерабатывающих производств. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

1 июля 2006 г. произошло объединение факультетов МСХ и МПСХП в агроинженерный факультет.

В 2008 г. осуществлен первый выпуск инженеров по специальности ТОРМ, а 2010 г. – инженеров по специальности ТПОП.

В 2009 г. проведен первый набор студентов по направлению бакалавриата «Агроинженерия», профили – «Механизация переработки сельскохозяйственной продукции» и «Технология обслуживания и ремонта машин», а также набор студентов в магистратуру по направлению «Агроинженерия».

В 2011 г. проведен первый набор студентов по новой программе направления бакалавриата «Агроинженерия». Осуществлен первый выпуск студентов магистратуры направления «Агроинженерия».

В 2012 г. проведен первый набор студентов по направлению «Техносферная безопасность».

В настоящее время на факультете шесть кафедр: «Физика» (заведующий профессор Г.А. Кораблев); «Теоретическая механика и сопротивление материалов» (доцент П.В. Дородов); «Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные машины» (профессор П.Л. Максимов); «Эксплуатация и ремонт машин» (доцент В.И. Широбоков); «Безопасность жизнедеятельности» (доцент С.П. Игнатъев); «Технологии и оборудование пищевых и перерабатывающих производств» (профессор В.В. Касаткин). На каждой кафедре сформировались научные направления, в реализации которых принимают участие как преподаватели, так и студенты.

Студенты старших курсов, участвующие в научно-исследовательской работе и в конструкторско-технологических разработках кафедр, выполняют дипломные проекты и курсовые работы на реальном материале. С научными разработками студенты принимают участие в республиканских и всероссийских выставках.

Выпускники факультета работают во многих областях Российской Федерации и в других странах, решая свою главную задачу по увеличению производства сельскохозяйственной продукции.

**Иванов Алексей Генрихович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: ivalgen@inbox.ru).

**Федоров Олег Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

P.L. Maksimov, T.S. Kopysova, A.G. Ivanov, O.S. Fedorov

*Izhevsk State Agricultural Academy*

## **60<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF AGRICULTURAL ENGINEERING FACULTY**

*The Agricultural Engineering Faculty of Izhevsk State Agricultural Academy dates from 1955, when the Agricultural Industry Mechanization Faculty was founded in Izhevsk Agricultural Institute. Many farms of Republic employed long-expected skilled mechanic engineers and the Institute could recruit the academic teaching staff with its own best graduates. A training ground being created, an opportunity emerged for centralized training control of non-professional drivers and multiskilled tractor drivers. Students took active part in faculty development making stands and laboratory scale-plants, assembling equipment, constructing laboratory and engineering buildings, which enlarged the working areas. Many candidate's and doctor's dissertations were based on the unique results of the newly-opened Students Engineering Design Research Office. The unique in this country fundamental research laboratory on magnetic susceptibility of various soils was founded in the Department of Physics. Nowadays there are six Departments of the Faculty, each with its own scientific field. The senior students participate in research activity and design engineering projects of the Departments, take part in Republic and all-Russia exhibitions, accomplish graduation and course papers using objective material. The alumni work in various regions of the Russian Federation and other countries handling their main problem – to increase the agricultural production output.*

**Key words:** *Izhevsk State Agricultural Academy; Agricultural Engineering Faculty; history; scientific research; teaching activity.*

### **Authors:**

**Maksimov Pavel Leonidovich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean of Agricultural Engineering Faculty. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 59-24-23).

**Kopysova Tatyana Sergeyevna** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of the Department of Technology and Equipment of Food and Processing Plants (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Ivanov Aleksey Genrikhovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: ivalgen@inbox.ru).

**Fedorov Oleg Sergeyeovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

С.П. Игнатьев

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИЗГОТАВЛИВАЕМОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*Вероятность получения травм в сельском хозяйстве в результате дорожно-транспортных происшествий и при воздействии движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей высока. Новая техника и инструкции по ее эксплуатации должны соответствовать требованиям нормативной документации для снижения вероятности получения травм. Даются рекомендации по совершенствованию конструкции копателя-сборщика КСК-2М и технической документации к нему. При совершенствовании конструкции рекомендуется: предусмотреть наличие противооткатных упоров; установить световозврататели, световые приборы сигнализации; нанести знак ограничения максимальной скорости; установить защитные кожухи для отделения всех опасных зон от обслуживающего персонала; предусмотреть наличие специальных инструментов для очистки; указать направление вращения регулировочного винта при поднятии (опускании) опорного колеса; обозначить места смазки; предусмотреть в конструкции машины место для хранения инструмента противооткатных бабмаков; предусмотреть ориентир для выгрузного устройства в конструкции копателя или технического описании. При совершенствовании технической документации рекомендуется дополнить инструкцию: чертежами, устанавливающими места для зачистывания подъемными механизмами; требованиями к пространству для технического обслуживания; расшифровкой условных обозначений, знаков, нанесенных на машину; аттестационными документами на машину; информацией по конкретным рискам, которые могут создаваться в некоторых случаях эксплуатации машин при использовании определенного оснащения, а также по конкретным защитным мерам, необходимым в этих случаях; информацией по индивидуальным средствам защиты; информацией по обнаружению неисправностей, ремонту и повторному пуску машин после устранения неисправностей; рисунками, поясняющими правильность выполнения операций, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием; информацией по выводу машин из эксплуатации, их демонтажу и утилизации; информацией по аварийным ситуациям; четко разделенной информацией, относящейся к действиям квалифицированного и неквалифицированного персонала. Выполнение рекомендаций снижает вероятность получения травм и повышает конкурентоспособность изготавливаемой техники.*

**Ключевые слова:** травмобезопасность; копатель; конструкция; инструкция; требования; фактическое состояние; рекомендации.

Изучение и анализ положения дел с травматизмом в сельскохозяйственном производстве показали, что в основных его отраслях (растениеводство, животноводство, сельскохозяйственное строительство) и направлениях деятельности (эксплуатация средств механизации и оборудования) уровень травматизма остается выше, чем в среднем по народному хозяйству России. По уровню травматизма, в соответствии с данными Российского статистического ежегодника [7], сельскохозяйственное производство занимает первое место (рис. 1).

В связи с механизацией сельского хозяйства преобладающее значение имеют травмы, близкие к производственным. Первое место по удельному весу в структуре травматизма заняли повреждения, связанные с работой, переездом и ремонтом сельскохозяйственных машин и транспортных средств, а также при уходе за животными. Чаще всего имеются повреждения кисти, головы и стопы, а по видам повреждений – раны и ушибы.

Краткий анализ распределения пострадавших по наиболее распространенным в Российской Федерации видам происшествий, приведших к несчастному случаю, представлен в табл. 1. Риск получения травм рассчитан с учетом численности работающих, которая по Российской Федерации в 2013 г. составляла 21 291 790 чел. [8].

Таблица 1 – Риск получения травмы в Российской Федерации

Пострадавшие	Количество, человек	Риск получения травмы
Всего	35587	$1,67 \cdot 10^{-03}$
При дорожно-транспортных происшествиях	3331	$1,56 \cdot 10^{-04}$
Воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей	7391	$3,47 \cdot 10^{-04}$

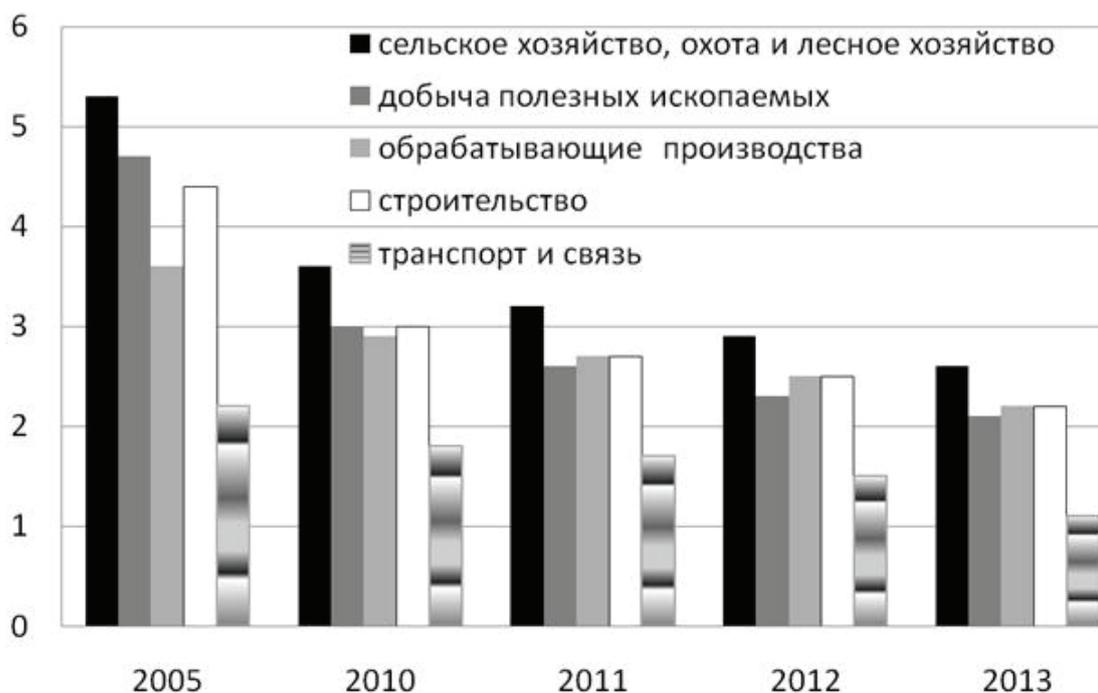


Рисунок 1 – Распределение частоты травмирования по отраслям народного хозяйства Российской Федерации в расчете на 1000 работающих

Анализ табл. 1 показывает, что риск получения травмы на производстве является неприемлемым, а риск получить травму при дорожно-транспортных происшествиях и при воздействии движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей находится в переходной зоне риска и сопоставим с риском гибели от самоубийств [1].

Ситуация с травматизмом в отрасли сельского хозяйства является неприемлемой, по этой причине работа, направленная на проектирование и изготовление современной и безопасной сельскохозяйственной техники, является **актуальной задачей**.

Одним из перспективных направлений деятельности ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА является изготовление сельскохозяйственной техники. В частности, под руководством доктора технических наук, профессора Леонида Михайловича Максимова на кафедре «Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные машины» изготавливается копатель-сборщик картофеля КСК-2М. Он предназначен для выкапывания картофеля, отделения клубней от почвы, ботвы, растительных примесей и подачи чистых клубней выгрузным транспортером в емкость тележки, которая движется рядом.

Машина выполняет все операции технологического процесса: выкапывает, отделяет клубни от почвы, ботвы, сорной растительности, направляет их в чистом виде в тару. Однако какой бы ни была технологичной разрабатываемая техника, она должна быть безопас-

ной для работников, ее эксплуатирующих и обслуживающих, и не вносить свою «черную лепту» в сельскохозяйственный травматизм.

**Целью исследований** является повышение травмобезопасности копателя-сборщика картофеля КСК-2М.

Для ее достижения необходимо выполнить следующие **задачи**:

- проанализировать конструкцию копателя-сборщика и инструкцию по его эксплуатации на предмет соответствия требованиям ГОСТ 53489 – 2009 «Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности» и ГОСТ Р ИСО 12100-2 – 2007 «Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования»;

- разработать рекомендации по совершенствованию конструкции машины и технической документации к ней, направленные на снижение травмоопасности разрабатываемой техники.

**Материал и методы.** Устройство копателя-сборщика, защищенного патентом Российской Федерации № 2332828, представлено на рис. 2 [5, 6]. В конструкцию машины входят подкапывающие лемеха, подъемно-сепарирующий орган, ботвоотделитель, выгрузной поперечный транспортер. Процесс отделения клубней от почвы, ботвы, растительных остатков происходит в восходящем потоке вороха, движущемся по трапециевидному каналу между двумя ветвями прутковых элеваторных полотен, отклоненными назад против хода движения агрегата. Ведущие валы элеваторных полотен уста-

новлены вверху на разных уровнях, а между ними размещен направляющий валец с возможностью изменения его положения в горизонтальном и вертикальном направлении. Таким образом, в верхней части сепаратора образованы две наклоненные к горизонту под разным углом прутковые поверхности, движущиеся в разные стороны. К верхней свободной ветви основного (заднего) элеваторного полотна, которая наклонена к горизонту под углом не выше угла качения клубней и выполняет функцию отражения и раската клубней с помощью направляющего вальца, размещенного позади ведущего вала, прижаты ветви ботвоудаляющих ремней, надетых с определенным интервалом (12 см) на клубнеприемное (переднее) элеваторное полотно. В нижней части движение основного (заднего) элеваторного полотна в местах перегиба направляется роликами, а клубнеприемного (переднего) – цилиндрическим барабаном, снабженным направляющими дорожками.

Главное преимущество описанной машины в том, что отсутствуют рабочие места переборщиков, которые постоянно подвергались риску травмирования. Однако абсолютно безопасной техники не существует и риск травмирования для работников, обслуживающих копатель-сборщик и находящихся в непосредственной близости от него, все же существует. Опасной зоной является пространство вблизи движущегося транспортного средства, так как существует вероятность наезда машины на работников при транспортировке и эксплуатации копателя. Комплекс опасных зон связан с возможностью воздействия на работников, осуществляющих техническое обслуживание, настройку и обкатку машины, движущихся предметов и деталей. Таковыми являются прутковые элеваторы, направляющие валь-

цы, цилиндрический барабан, карданный вал и цепные передачи, приводящие в движение элементы копателя-сборщика. При эксплуатации машины, не имеющей средств, обеспечивающих безопасность труда, риск травмирования является неприемлемым, кроме того, существует вероятность получения работниками смертельных травм.

Фотографии экспериментальной установки, на которых видны рабочие органы машины, являющиеся потенциальными источниками травмирования, представлены на рис. 3.

**Результаты исследования.** На кафедре «Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные машины» была проведена значительная работа по снижению риска для работников, осуществляющих техническое обслуживание описанной машины. Разработаны техническое описание и инструкция по эксплуатации копателя-сборщика картофеля, в которой в соответствии с ГОСТ Р ИСО 12100-2 – 2007 [3] имеется:

- информация по транспортированию, обслуживанию и хранению машины;
- информация по установке и вводу машины в эксплуатацию;
- информация по самой машине;
- информация по эксплуатации машины;
- информация по техническому обслуживанию.

Также внесены изменения в конструкцию машины:

- установлены места строповки, указано направление стопора, которое отличается по цвету от рамы копателя;
- изготовлен защитный кожух карданного вала;
- движущиеся и вращающиеся части машин со стороны расположения предохранительной муфты почти полностью защищены ограждениями;

- рабочие органы машин оборудованы фиксирующими устройствами, удерживающими их в транспортном положении;

- на защитных ограждениях нанесены знаки, предупреждающие об опасности травмирования движущимися и вращающимися частями машины;

- вместо задних световозвращателей нанесены чередующиеся черные и желтые полосы.

Фотография машины после реализации защитных технических мероприятий показана на рис. 4.

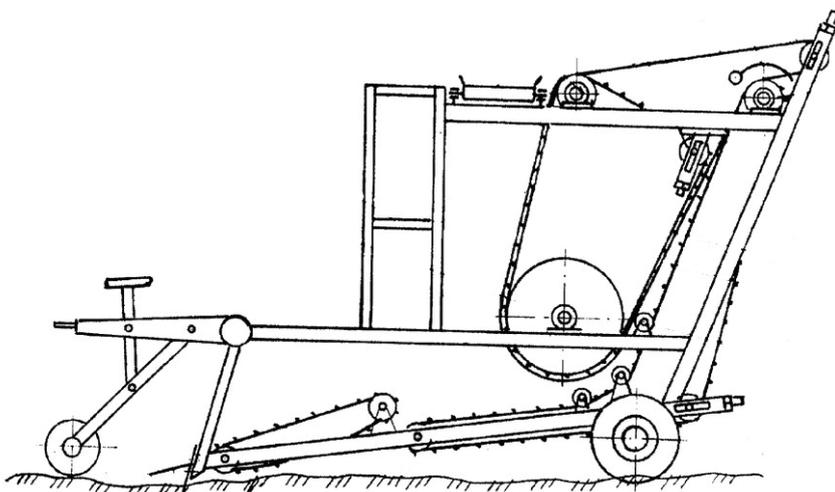


Рисунок 2 – Схема копателя-сборщика картофеля

Результат анализа конструкции копателя-сборщика на предмет соответствия ГОСТ Р 53489-2009 [2, 4] выявил ряд расхождений, которые представлены в табл. 2. В результате анализа технического описания, инструк-

ции по эксплуатации копателя-сборщика картофеля КСК-2М на предмет соответствия пункту 6.5 ГОСТ Р ИСО 12100-2 составлены рекомендации по доработке сопроводительной документации к машине (табл. 3).



Рисунок 3 – Копатель-сборщик до установки ограждений



Рисунок 4 – Внешний вид копателя сборщика КСК-2М

Таблица 2 – Анализ конструкции копателя-сборщика картофеля КСК- 2М на предмет соответствия требованиям ГОСТ Р 53489-2009

Перечень возможных опасных факторов и требований для обеспечения безопасности	Пункт требований ГОСТ	Фактическое состояние	Рекомендации по приведению параметра, не соответствующего нормам, к требованию ГОСТ
На прицепных машинах, предназначенных для работы в поле и выход которых на дороги общего пользования является исключением, наличие рабочего и стояночных тормозов должно быть установлено в ТУ на машину	4.3.1	Рабочие и стояночные тормоза отсутствуют	Предусмотреть наличие противооткатных упоров
Машины должны быть оборудованы световозвращателями, не менее двух передних и двух задних	4.6.1.1	Световозвращатели спереди отсутствуют	Установить световозвращатели в соответствии с 4.6.1.1. ГОСТ Р53489-2009

Перечень возможных опасных факторов и требований для обеспечения безопасности	Пункт требований ГОСТ	Фактическое состояние	Рекомендации по приведению параметра, не соответствующего нормам, к требованию ГОСТ
Передние световозвращатели должны быть расположены на высоте от 400 до 1200 мм от земли	4.6.1.2	Световозвращатели спереди отсутствуют	Установить световозвращатели в соответствии с 4.6.1.1. ГОСТ Р53489-2009
Задние световозвращатели должны быть красного, передние – белого цвета (допускается нанесение чередующихся красных и белых или желтых полос)	4.6.1.5	Световозвращатели спереди отсутствуют	
Машины, которые могут в составе СХА перемещаться по дорогам общего пользования и при агрегатировании закрывают приборы световой сигнализации ЭС, должны быть оборудованы собственными приборами сигнализации	4.6.2	Световые приборы и сигнализации отсутствуют	Установить световые приборы и сигнализации
На прицепных машинах сзади слева должен быть нанесен знак ограничения максимальной скорости по ГОСТ 52290	4.6.3	Знак ограничения максимальной скорости отсутствует	Сзади слева нанести знак ограничения максимальной скорости
Движущиеся или вращающиеся части машин должны быть встроены в конструкцию или защищены ограждениями по ГОСТ 12.2.062. Защитные ограждения частей машин, подлежащих осмотру каждый день, должны открываться без применения инструмента	4.8.2.	Движущиеся и вращающиеся части машин встроены в конструкцию и частично защищены ограждениями	Установить защитные кожухи на движущиеся и вращающиеся части машин
Машины, рабочие органы которых подвержены забиванию или налипанию на них, должны иметь устройства или приспособления для безопасной очистки	4.9.6.	Специальные инструменты для очистки отсутствуют	Предусмотреть наличие специальных инструментов для очистки
Органы управления машиной должны быть: легкодоступны и различимы; обозначены при необходимости надписями и (или) символами; выполнены так, чтобы их форма, размеры и поверхности контакта оптимально соответствовали способу приложения управляющего усилия со стороны конечности оператора; размеры площадок педалей управления должны быть не менее 60 мм в длину и 60 мм в ширину	4.12.1	Органы управления доступны и различимы, форма и размеры оптимально соответствуют способу приложения управляющего усилия со стороны конечности оператора	Указать направление вращения регулировочного винта при поднятии опорного колеса и при его опускании
Места смазки должны быть обозначены символами или указателями. Допускается выполнять указатель в виде круга диаметром не менее 10 мм или наклейки с символом на расстоянии 20-50 мм от масленки. Если цвет масленки отличается от цвета машины, допускается места смазки не обозначать	4.13.3.	Места смазки никак не обозначены, не выделены другим цветом	Места смазки обозначить в соответствии по 4.13.3. ГОСТ Р 53489-2009
Машины должны быть снабжены специальным инструментом и приспособлениями, разработанными специально для конкретной машины и отсутствующими в комплекте ЭС, и иметь специальный ящик или сумку для их хранения	4.13.4.	Машина не имеет специального ящика или сумки для их хранения	Предусмотреть в конструкции машины место для хранения инструмента противооткатных башмаков
Машины должны быть оборудованы сигнализацией (световой и (или) звуковой), информирующей о заполнении бункера или других накопителей, и иметь ориентир на выгрузном устройстве для водителей транспортных средств	5.4.3.	Ориентира на выгрузном устройстве для водителей транспортных средств не имеется	Предусмотреть ориентир для выгрузного устройства в конструкции копателя или техническом описании

Таблица 3 – Анализ технического описания, инструкции по эксплуатации копателя-сборщика картофеля КСК-2М на предмет соответствия требованиям пункта 6.5 ГОСТ Р ИСО 12100-2

Требования к содержанию руководства по эксплуатации	Пункт требований ГОСТ	Фактическое состояние	Рекомендации по приведению параметра, не соответствующего нормам, к требованию ГОСТ
Указания по погрузочно-разгрузочным работам (например, чертежи, устанавливающие места для зачаливания подъемными механизмами)	6.5.1 а)	Места для зачаливания обозначены на машине, чертеж отсутствует	Дополнить раздел 9 инструкции чертежами, устанавливающими места для зачаливания подъемными механизмами
Требования к пространству, необходимому для эксплуатации и технического обслуживания машин	6.5.1 б)	В инструкции требования к пространству для технического обслуживания отсутствуют	Дополнить раздел 6 инструкции требованиями к пространству для технического обслуживания
Рекомендации по защитным мерам, которые в случае необходимости должны принимать пользователи, например, рекомендации по дополнительным защитным ограждениям, безопасным расстояниям, знакам, предупреждающим об опасности, сигналам и т.п.	6.5.1 б)	В инструкции имеется раздел «Меры безопасности при работе и техническом обслуживании копателя-сборщика», расшифровка условных обозначений знаков, нанесенных на машину, отсутствует	Дополнить раздел 11 инструкции расшифровкой условных обозначений знаков, нанесенных на машину
Аттестационные документы, подтверждающие соответствие машин обязательным требованиям	6.5.1 с)	Аттестационные документы	Подготовить соответствующие аттестационные документы и приложить их к инструкции
Информация по конкретным рискам, которые могут создаваться в некоторых случаях применения машин при использовании определенного оснащения, а также по конкретным защитным мерам, необходимым в этих случаях	6.5.1 д)	В инструкции информация отсутствует	Дополнить раздел 11 инструкции необходимой информацией
Информация по индивидуальным средствам защиты	6.5.1 д)	В инструкции информация отсутствует	Дополнить раздел 11 инструкции необходимой информацией
Информация по обнаружению неисправностей, ремонту и повторному пуску машин после устранения неисправностей	6.5.1 д)	В инструкции информация отсутствует	Дополнить раздел 6 инструкции необходимой информацией
Чертежи и диаграммы, позволяющие персоналу, занимающемуся техническим обслуживанием, рационально выполнять соответствующие рабочие задания	6.5.1 е)	В инструкции имеется текстовая информация по проведению регулировок, настройке и обкатке, четкие чертежи, позволяющие выполнять описанные работы, отсутствуют	Дополнить разделы 4 и 5 рисунками, поясняющими правильность выполнения операций, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием
Информация по выводу машин из эксплуатации, их демонтажу и утилизации	6.5.1 ф)	В инструкции информация отсутствует	Дополнить инструкцию отдельным разделом соответствующего характера
Информация по аварийным ситуациям	6.5.1 г)	Информация по аварийным ситуациям отсутствует	Дополнить инструкцию отдельным разделом соответствующего характера
Инструкции по техническому обслуживанию, предусмотренные для квалифицированного персонала, а также инструкции, предусмотренные для неквалифицированного персонала, которые должны четко разделяться	6.5.1 h)	Инструкции для квалифицированного и неквалифицированного персонала не разделяются	Дополнить раздел 6 инструкции четко разделенной информацией, относящейся к действиям квалифицированного и неквалифицированного персонала

**Вывод.** Указанные в табл. 2 и 3 рекомендации не приведут, на первый взгляд, к росту производительности труда при работе копателя-сборщика КСК-2М, также их реализация может увеличить стоимость машины. Однако технически и организационно реализованные мероприятия, направленные на обеспечение безопасности, значительно снижают риск травмирования работников, задействованных в эксплуатации и техническом обслуживании, ускоряют процесс обучения грамотной эксплуатации машины. Все это скажется на повышении эффективности разрабатываемой техники. Кроме того, реализованные мероприятия повысят привлекательность и конкурентоспособность копателя-сборщика как товарной продукции с высокой интеллектуальной долей, подтвержденной патентами Российской Федерации и научными трудами разработчиков машины.

### Список литературы

1. Белов, С.В. Ноксология: учебник для бакалавров / С.В. Белов, Е.Н. Симакова. – М.: Юрайт, 2012. – 461 с.
2. ГОСТ 53489-2009. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности. – Введ. 2009–12–10. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» Изд-во стандартов, 2010. – 12 с.
3. ГОСТ Р ИСО 12100-2-2007. Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 2. Технические принципы. – Введ. 2008–01–07. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» Изд-во стандартов, 2008. – 32 с.
4. Игнатъев, С.П. Рекомендации по приведению конструкции копателя-сборщика картофеля КСК-2 М в соответствие с требованиями ГОСТ Р 53489-2009 / С.П. Игнатъев, Е.В. Кузнецова // Теория и практика – устойчивому развитию агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции 17-20 февраля 2015 г. В 2 т. / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015. – Т. 2. – С. 165–167.
5. Пат. 2332828 Российская Федерация, МПК А01D17/22 Картофелеуборочный комбайн, отделяющий клубни в восходящем потоке вороха / Максимов Л.М., Максимов П.Л., Максимов Л.Л.; заявитель и патентообладатель Максимов Л.М. – № 2006144343/11; заявл. 12.12.2006 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25. – 7 с.
6. Полезные реализованные изобретения по устройствам для уборки корнеклубнеплодов: (техн. решения, расчет, конструкции): монография / Л.М. Максимов, П.Л. Максимов, Л.Л. Максимов; [ФГОУ ВПО «Ижевская ГСХА»]. – Ижевск: КнигоГрад, 2009. – 136 с.
7. Российский статистический ежегодник [Электрон. ресурс]. – 2013. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b13\\_13/Main.htm/](http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_13/Main.htm/). (18.06.2015 г.).
8. Федеральная служба государственной статистики. Условия труда, производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/). (18.06.2015 г.).

### Сведения об авторе:

**Игнатъев Сергей Петрович** – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой безопасности жизнедеятельности. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: [ignatevsp@mail.ru](mailto:ignatevsp@mail.ru)).

S.P. Ignatyev  
Izhevsk State Agricultural Academy

## MODERN FARM EQUIPMENT SAFETY IMPROVEMENT

*The possibility of being injured in the agricultural sector due to road traffic accidents and while working with moving, flying and revolving objects and details is very high. New farm equipment and operational manuals should satisfy the demands of legal requirements for reducing the injury possibility. The article gives recommendations on design development of the potato digging and gathering machine KSK-2M and operational manuals for it. Recommendations on construction development are the following: to provide the availability of wheel chocks; to install cat's eyes, alarm lights; to apply the speed limitation sign; to install the protective covers on all dangerous zones; to provide the availability of special cleaning instruments; to identify the direction of adjusting screw turning when moving up (down) a supporting wheel; to mark the lubrication points; to provide the storage area for keeping wheel chocks; to provide the mark for discharge gear in a machine construction or a technical description. For the technical manual improvement it is recommended to complement it with drafts showing the places for lifting mechanism fastening; requirements for maintenance space; decipherment of type codes and signs on the machine; prepared machine qualification documents and attach them to instruction; information on particular risks in some cases of specific fittings application and protective measures; information on individual means of protection; information on maintenance diagnostics, repair and restarting after fault handling; pictures illustrating proper operations and maintenance; information on machine removal from service, disassembling and utilization; information on emergency situations; strictly divided information on activities of qualified and unqualified staff. Keeping to the recommendations decreases the possibility of injuries and increases marketability of equipment.*

**Key words:** injury prevention; potato digging and gathering machine; construction; instruction; requirements; real situation; recommendations.

### Authors:

**Ignatyev Sergey Petrovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Acting Head of Life Safety Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: ignatevsp@mail.ru).

УДК 621.891+621.793

А.Г. Ипатов<sup>1</sup>, Е.В. Харанжевский<sup>2</sup>, С.М. Стрелков<sup>1</sup>, С.Н. Шмыков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО УдГУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «Б83-МОS<sub>2</sub>-Ф4»

*Рассмотрены вопросы о необходимости создания более современных и эффективных покрытий на поверхности деталей машин, обладающих комплексом механических и физических свойств, способных работать как в нормальных, так и в экстремальных условиях. Предложена новая технология нанесения антифрикционных покрытий на поверхности деталей машин лазерной обработкой композиционных порошковых материалов системы «Б83-МоS<sub>2</sub>-Ф4». Для получения покрытий проведен выбор исходных компонентов на основе анализа антифрикционных материалов. Разработана методика нанесения металлополимерного покрытия, а также методика лабораторных исследований в условиях гидродинамического и сухого трения. Представлены результаты лабораторных и экспериментальных исследований покрытий в условиях сухого и гидродинамического трения. Полученные результаты показывают, что металлополимерные покрытия системы «Б83-МоS<sub>2</sub>-Ф4» обладают более высокими триботехническими характеристиками и несущей способностью по сравнению с традиционными, в частности более низким коэффициентом трения и интенсивностью износа в условиях «масляного голодания» и высоких удельных нагрузок.*

**Ключевые слова:** лазерная обработка; баббит Б-83; олово; дисульфид молибдена; моликотовая смазка; поверхность деталей машин; триботехнические испытания; износостойкость; коэффициент трения; покрытие.

Надежность и долговечность машин и механизмов определяется долговечностью деталей. Долговечность деталей, в свою очередь, зависит от работоспособности тонкого поверх-

ностного слоя в различных условиях эксплуатации. Для получения повышенной работоспособности требуется определенное сочетание химического состава и структурной харак-

теристики поверхностного слоя, что традиционные конструкционные стали обеспечить не могут. Использование же современных «сложных» конструкционных материалов неэффективно в силу их высокой себестоимости. Поэтому наиболее эффективным способом является нанесение специальных покрытий на рабочие поверхности деталей машин.

Современное машиностроение и ремонтное производство имеют большое количество материалов и способов нанесения специальных рабочих покрытий, обладающих хорошими противозносными, антикоррозионными и жаропрочными свойствами [4, 5]. Однако их характеристики не универсальны: у одних покрытий высокая твердость и хорошая износостойкость, другие – мягкие, с высокой ударной вязкостью. При этом необходимо учитывать, что большинство деталей машин в узлах испытывают как износные, так и термические и ударные нагрузки. Таким образом, получаемые покрытия должны обладать комплексом механических и физических свойств. Наиболее интересным направлением при создании функциональных покрытий в современном ремонтном производстве являются металлополимерные покрытия [1, 3]. Однако данные работы находятся на стадии разработки или исследуются в лабораториях и информация по ним недостаточна.

**Методика получения покрытий.** Для создания металлополимерных покрытий нами были выбраны следующие материалы:

Баббит № 83 – многокомпонентный сплав, являющийся основным антифрикционным материалом, использующийся в подшипниках скольжения. Благодаря мягкой матрице с твердыми включениями обладает повышенной износостойкостью в условиях высоких скоростей и удельных нагрузок.

В качестве полимерных составляющих использовали смазку Molykote D-312 (содержит фторопласт Ф-4, дисульфид молибдена), дисульфид молибдена. Данные компоненты в основном применяются как присадки, но при определенных условиях можно использовать как самостоятельные покрытия, обладающие низким коэффициентом трения, высокой химической стойкостью и большим температурным диапазоном эксплуатации. Для получения покрытий использовали технологию лазерного наращивания, описанную в работах [2, 6, 7] и широко используемую в машиностроении.

Перед нанесением покрытий, поверхности образцов маркировали с целью обеспече-

ния более высокой адгезионной и когезионной прочности покрытия. Маркировку проводили на твердотельном лазерном генераторе в импульсном режиме. В процессе маркировки создавали микронеровности форм – «треугольник» и «прямоугольник» различной дисперсности. Образцы покрытий без видимых следов отслоения и коробления использовали для дальнейших исследований.

Для подготовки композиционного состава исходные материалы подвергли специальной обработке и смешали в канифольном растворе (баббит В83, баббит В83+MoS<sub>2</sub>). Далее при помощи вышеуказанного лазерного генератора нанесли покрытия с различными сочетаниями компонентов композиционного состава. Таким образом, были получены покрытия на поверхности стальных образцов со следующими составами: баббит В83, баббит В83+MoS<sub>2</sub>, Molykote D-312, баббит В83+MoS<sub>2</sub>+Molykote D-312. Толщина полученных покрытий составила около 200 мкм. Для определения наилучшего покрытия провели лабораторные испытания.

**Методика лабораторных исследований.** Испытания на трение и износ проводили в условиях трения скольжения в масляной среде на установке СМТ-2070, по схеме нагружения «диск-колодка» согласно ГОСТ 23222-84 (рис. 1).

Для обеспечения условий гидродинамического трения в зону трения подавали масло с периодичностью 1 капля в минуту.

Для обеспечения периодичности подачи масло подавали через калиброванную трубку.

Слой напекали на вогнутую цилиндрическую поверхность колодки (рис. 2). Нагрузке подвергали цилиндрическую выпуклую поверхность образца диаметром 50 мм, толщиной 10 мм. Контртелом являлся диск из стали 40Х диаметром 50 мм, толщиной 10 мм, закаленный.

Испытания проводили при удельной нагрузке от 5 до 30 МПа. В качестве смазки при износных испытаниях использовали индустриальное масло И-20.

Удельная нагрузка и интенсивность подачи масла (1 капля в минуту) приняты как наиболее тяжелые условия работы средненагруженных опорных шеек распределительных валов автомобильных двигателей.

В процессе испытания фиксировали время приработки покрытия, величину момента трения, коэффициент трения, износостойкость, а также путь до схватывания в условиях «сухого» трения.

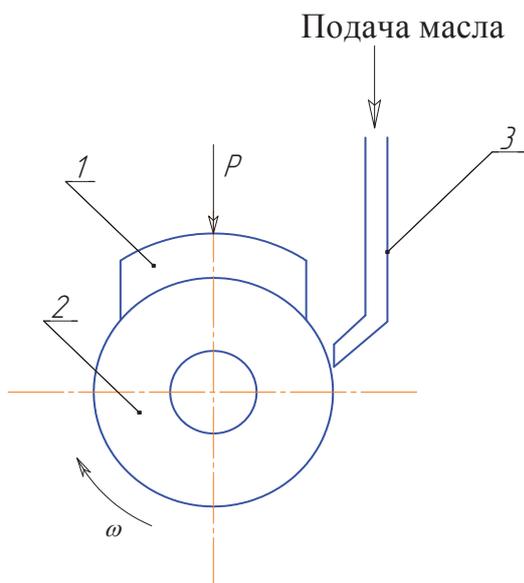


Рисунок 1 – Схема испытания образцов: 1 – диск; 2 – колодка; 3 – трубка для подвода масла

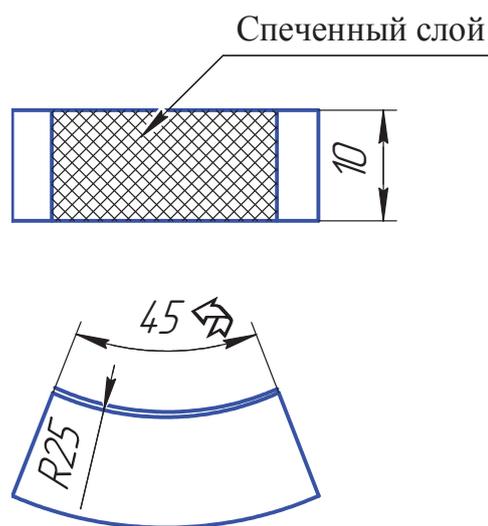


Рисунок 2 – Схема нанесения покрытия

Время приработки определяли по стабилизации момента трения и температуры сопряженных поверхностей. Температуру на поверхности трения замеряли с помощью термометра. Устойчивость напеченных покрытий против схватывания определяли по времени работы сопряжений в условиях гидродинамического трения. По окончании приработки подача смазки в сопряжение прекращалась, и замерялось время работы сопряжения без смазки при соответствующих нагрузках без заедания и схватывания. Момент схватывания определяли по резкому увеличению момента трения и температуры сопряжения.

Коэффициент трения определяли при установившемся режиме трения после приработки сопряжения по следующему выражению:

$$f = P_{тр.} / P_{норм.}, \quad (1)$$

где  $P_{норм.}$  – нормальное усилие на сопряжение.

Силу трения  $P_{тр.}$  определяли через момент трения  $M_{тр.}$ . Момент трения определяли из графика износа:

$$P_{тр.} = M_{тр.} / r, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус роликов-образцов, м.

Таким образом, конечная зависимость коэффициента трения от условий нагружения принимает следующий вид:

$$f = M_{тр.} / r \cdot P_{норм.} \quad (3)$$

Величину износа определяли по потере массы образца:

$$\Delta h = (m_n - m_o) / \gamma \cdot S, \quad (4)$$

где  $m_n$  и  $m_o$  – массы образца до и после испытания соответственно, г;

$\gamma$  – плотность материала образца, г/см<sup>3</sup>;

$S$  – площадь контакта с диском, см<sup>2</sup>.

Безразмерную величину относительного линейного износа вычисляли по формуле

$$I = \Delta h / \pi D n, \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр диска, м;

$n$  – число циклов нагружения.

Величина износа покрытия определялась как среднеквадратичное значение трех измерений при 3-кратном повторении опыта. Полученные результаты приведены ниже.

**Результаты исследований.** Первоначально при износных испытаниях выяснили, какая форма микронеровностей является наиболее эффективной. С этой целью построили зависимость коэффициента трения от прилагаемой нагрузки для образцов с формой микронеровности «треугольник» (рис. 3).

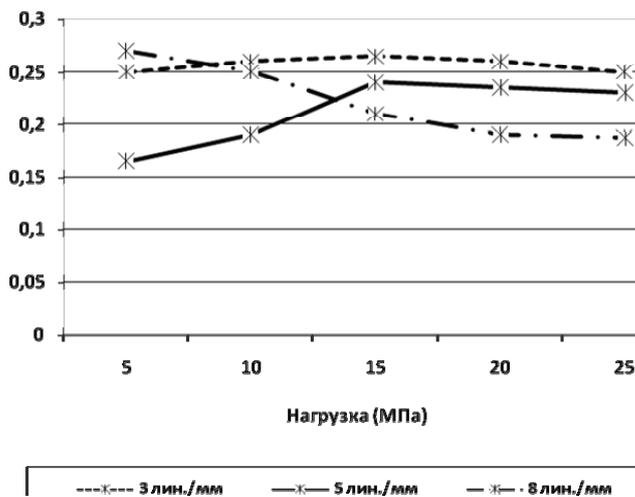


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения от прилагаемой нагрузки для микронеровностей формы «треугольник»

В качестве образцов применяли баббитовые покрытия марки Б83. Для этого использовали три образца с микронеровностями формы «треугольник», но с различным шагом обработки. На представленном графике видно, что наиболее приемлемые результаты у микронеровностей с шагом обработки в 8 линий/мм. У данного образца происходит стабильное снижение коэффициента трения, что говорит о высокой прочности покрытия и отсутствии ювенильных контактов со стальной поверхностью подложки образца.

Аналогичные испытания провели для образцов с микронеровностями «прямоугольник» (рис. 4).

Как и для микронеровности формы «треугольник», наименьший и более стабильный коэффициент трения возникает у образца с шагом обработки 8 линий/мм. Однако, сравнивая результаты, можно сказать, что микронеровности формы «треугольник» обладают более стабильным коэффициентом трения, поэтому данную форму микронеровностей использовали для дальнейших исследований.

В дальнейшем провели гидродинамические испытания для всех вышеуказанных покрытий с целью определить минимальный коэффициент трения (рис. 5).

Кроме четырех покрытий для сравнительного анализа состояния коэффициента трения испытали закаленную поверхность стали 45. В результате выяснили достаточно интересный факт: при небольших удельных нагрузках лучше выглядит покрытие из Molykote D-312 и стальная закаленная поверхность, при этом

коэффициент трения чистого баббита Б83 и сложного композиционного покрытия системы «Б83+MoS<sub>2</sub>+Molykote D-312» имеет относительно высокое значение. Но с увеличением удельной нагрузки ситуация кардинально меняется, и при достижении 35 МПа коэффициент трения покрытия системы «Б83+MoS<sub>2</sub>+ Molykote D-312» значительно снижается. Объяснением могут служить разные структурные характеристики представленных покрытий, в частности, прирабатываемость стальной и моликотовой поверхностей выше, поскольку стальная закаленная поверхность имеет низкую шероховатость, а моликотовое соединение – слоистую структуру. Благодаря данным характеристикам покрытия достаточно быстро самоорганизуются, обеспечивая стабильную шероховатость и низкий коэффициент трения. Но с увеличением удельной нагрузки у стальной поверхности возникает явление ювенильного трения, что вызывает разрушение микронеровностей и дальнейшее микросхватывание, что определяет коэффициент трения и приводит к его повышению. У моликотового покрытия ситуация иная: с увеличением удельной нагрузки слоистая структура разрушается, поскольку обладает низкой прочностью, и в конечном итоге интенсивный износ приводит к ситуации вышеуказанного ювенильного трения.

У сложного композиционного покрытия структура совершенно уникальная, поскольку имеется прочная матрица на основе баббита Б83, а также податливый слой, состоящий из фторопласта и дисульфида молибдена, с низким коэффициентом трения.

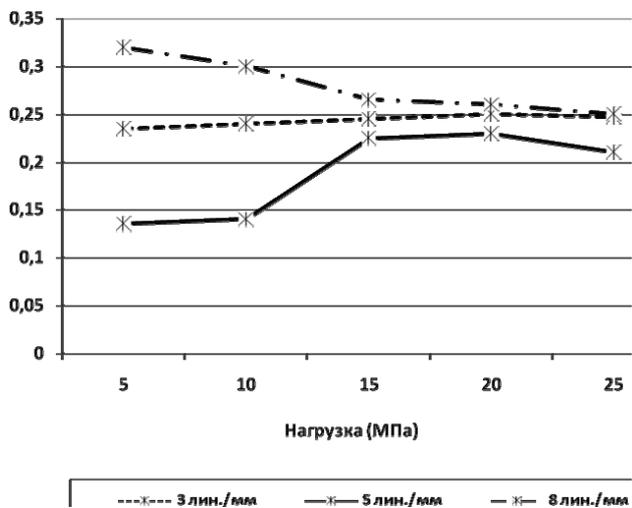


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента трения от прикладываемой нагрузки для микронеровностей формы «прямоугольник»

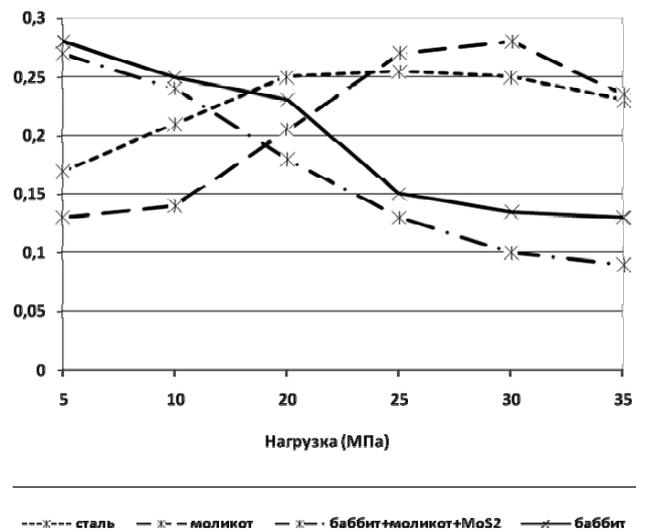


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения от композиционного состава покрытия

Данное сочетание обеспечивает работу как при условиях низких удельных нагрузок, когда работает наружный полимерный слой, так и при достаточно высоких нагрузках, когда в работу включается прочная матрица из баббита Б83. Кроме того, дисульфид молибдена очень хорошо стабилизирован в масле, что удерживает его во взвешенном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, не позволяя самопроизвольно осесть на трущихся поверхностях. Таким образом, испытания показали, что металлополимерные покрытия системы «Б83+MoS<sub>2</sub>+ Molykote D-312» обладают более низким коэффициентом трения и выдерживают большие удельные нагрузки.

Кроме вышеуказанного параметра в условиях гидродинамического изнашивания определили температуру в момент значительного изменения момента трения, а также величину износа (табл. 1). Представленные результаты также наглядно демонстрируют превосходство практически по всем показателям сложного металлополимерного покрытия системы «Б83+MoS<sub>2</sub>+ Molykote D-312».

Особо хочется отметить разницу в пути трения без изменения момента трения для стальной закаленной поверхности и рассматриваемого покрытия, которая составляет более чем 6 раз. Температура в зоне трения практически для всех поверхностей одинакова, однако при этом путь трения до указанных температур у покрытий совершенно разный, что указывает на разную скорость передачи тепла из зоны трения. Величина абсолютного износа для всех представленных покрытий меняется незначительно и находится в пределах одного порядка.

Для определения работоспособности покрытий в условиях масляного голодания смоделировали «сухое» трение. В качестве основных

параметров контролировали путь трения до схватывания, максимальную нагрузку, а также величину износа и температуру схватывания (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 свидетельствует, что максимальный путь трения без подачи масла соответствует покрытию «Б83+MoS<sub>2</sub>+Molykote D-312». Длина пути трения без схватывания составляет 31 086 м при максимальной нагрузке в 20 МПа. Полученный результат связан с механизмом действия добавки MoS<sub>2</sub>, характеризующейся слоистой и пластинчатой структурой. Дисульфид молибдена обладает высокой адгезией к поверхности металла, что приводит к образованию защитного микрослоя, оседая и заполняя микротрещины и зазоры, тем самым сглаживая поверхность. Этот слой обладает высокой прочностью, что создает дополнительную защиту от микросхватывания. В процессе трения происходит свободное перемещение пластинок дисульфида молибдена друг относительно друга, что уменьшает коэффициент трения, снижая тем самым износ и предотвращая повреждение деталей. Необходимо также отметить, что температура трения в момент разрушения равна 380°C, и это максимальная температура для всех представленных покрытий.

**Выводы.** В качестве основных результатов можно отметить, что:

1) в условиях гидродинамического трения величина износа исследуемого покрытия составила  $1,68249 \cdot 10^{-7}$  г/м, коэффициент трения 0,08 при нагрузке 35 МПа. Данные значения являются наилучшими среди всех исследуемых покрытий;

2) в условиях сухого трения максимальный путь трения до схватывания также принадлежит исследуемому покрытию и соответствует расстоянию 31 086 м.

Таблица 1 – Триботехнические характеристики покрытий в условиях гидродинамического трения

Покрытие	P, МПа	Путь трения без изменения момента трения, м	T, °C	Износ, г/м	fтр.
Моликот	30	157000	350	$1,82803 \cdot 10^{-7}$	0,21
Баббит, MoS <sub>2</sub> , моликот	35	166420	340	$1,68249 \cdot 10^{-7}$	0,08
Сталь	20	25120	370	$3,06529 \cdot 10^{-7}$	0,24
Баббит	35	73790	380	$4,64833 \cdot 10^{-7}$	0,14

Таблица 2 – Триботехнические характеристики покрытий в условиях сухого трения

Покрытие	Max нагрузка, МПа	Путь трения, м	T, °C	Износ, г/м	fтр.
Моликот	15	8164	350	$4,7770 \cdot 10^{-7}$	0,33
Баббит	15	6280	340	$4,4267 \cdot 10^{-5}$	0,30
Баббит, MoS <sub>2</sub>	20	18840	370	$4,0870 \cdot 10^{-7}$	0,21
Баббит, MoS <sub>2</sub> , моликот	20	31086	380	$4,3234 \cdot 10^{-7}$	0,22

Проведенные лабораторные исследования покрытий на работоспособность в различных условиях смазки показывают, что металлополимерные покрытия системы «B83-MoS<sub>2</sub>-F4» могут быть использованы в качестве антифрикционных покрытий с высокой износостойкостью и несущей способностью.

### Список литературы

1. Ильяшенко, И.Д. Применение нанокристаллического дисульфида молибдена в машинах с гидродинамическими передачами / И.Д. Ильяшенко // Инженерный журнал: Науки и инновации. – 2014. – № 1.
2. Ипатов, А.Г. Лазерное высокоскоростное спекание ультрадисперсных порошковых материалов / А.Г. Ипатов, С.М. Стрелков, Е.В. Харанжевский // Материалы научной конференции «Огаревские чтения». – Саранск, 2008. – Часть 3. – С. 7-8.
3. Плескачевский, Ю.М. Основы технологии электроконтактного спекания наноструктурированных металлополимерных покрытий триботехнического назначения / Ю.М. Плескачевский, В.А. Ковтун // Автоматическая сварка. – 2013. – № 10-11. – С. 72-80.
4. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие / Т.Ю. Степанова; Ивановский гос. хим-техн. университет. – Иваново, 2009. – 64 с.
5. Тополянский П.А., Прогрессивные технологии нанесения покрытий / П.А. Тополянский, А.П. Тополянский // НПФ «Плазмоцентр». – С.-П., 2011.
6. Лазерное спекание ультрадисперсных порошковых материалов на основе железа / Е.В. Харанжевский [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2009. – Т. 108, № 5. – С. 534-540.

7. Шишковский, И.В. Послойный синтез объемных изделий из нитрида титана методом СЛС / И.В. Шишковский, С.Е. Закиев, Л.П. Холпанов // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 3. – С. 71-78.

### Spisok literatury

1. Il'jashenko, I.D. Primenenie nanokristallicheskogo disulfida molibdena v mashinah s gidrodinamicheskimi peredachami / I.D. Il'jashenko // Inzhenernyj zhurnal: Nauki i innovacii. – 2014. – № 1.
2. Ipatov, A.G. Lazernoe vysokoskorostnoe spekanie ul'tradispersnyh poroshkovyh materialov / A.G. Ipatov, S.M. Strelkov, E.V. Haranzhevskij // Materialy nauchnoj konferencii «Ogarevskie chtenija». – Saransk, 2008. – Chast' 3. – S. 7-8.
3. Pleskachevskij, Ju.M. Osnovy tehnologii jelektrokontaktnogo spekanija nanostrukturirovannyh metallopolymernyh pokrytij tribotekhnicheskogo naznachenija / Ju.M. Pleskachevskij, V.A. Kovtun // Avtomaticheskaja svarka. – 2013. – № 10-11. – S. 72-80.
4. Stepanova, T.Ju. Tehnologii poverhnostnogo uprochnenija detalej mashin: uchebnoe posobie / T.Ju. Stepanova; Ivanovskij gos. him-tehn. universitet. – Ivanovo, 2009. – 64 s.
5. Topoljanskij P.A., Progressivnye tehnologii nanesenija pokrytij / P.A. Topoljanskij, A.P. Topoljanskij // NPF «Plazmocentr». – S.-P., 2011.
6. Lazernoe spekanie ul'tradispersnyh poroshkovyh materialov na osnove zheleza / E.V. Haranzhevskij [i dr.] // Fizika metallov i metallovedenie. – 2009. – T. 108, № 5. – S. 534-540.
7. Shishkovskij, I.V. Poslojnyj sintez ob'emnyh izdelij iz nitrída titana metodom SLS / I.V. Shishkovskij, S.E. Zakiev, L.P. Holpanov // Fizika i himija obrabotki materialov. – 2005. – № 3. – S. 71-78.

### Сведения об авторах:

**Ипатов Алексей Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: ipatow.al@yandex.ru).

**Харанжевский Евгений Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией экспериментальной физики и автоматизированного эксперимента. Удмуртский государственный университет (426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: eh@udsu.ru).

**Стрелков Станислав Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Шмыков Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

A.G. Ipatov<sup>1</sup>, E.V. Kharanzhevsky<sup>2</sup>, S.M. Strelkov<sup>1</sup>, S.N. Shmykov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Agricultural Academy;

<sup>2</sup> Udmurt State University

## STUDY OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF METAL-POLYMERIC COATINGS OF «B83-MOS<sub>2</sub>-F4» SYSTEM

*The article studies the problems of creating more modern and effective coatings on machine details surface having the mechanical and physical characteristics for working both in normal and extreme conditions. The new technology of antifriction coating application on machine parts with laser processing of composite powdered materials of «B83-MoS<sub>2</sub>-F4» system is suggested. The selection of primary components was made on the ground of*

*antifriction materials analysis for coatings preparation. The methodology of metal-polymeric coatings application is developed as well as the laboratory procedures under the conditions of hydrodynamic and dry friction. The results of laboratory and experimental researches of coatings under the conditions of hydrodynamic and dry friction are presented. The results obtained show that metal-polymeric coatings of «B83-MoS<sub>2</sub>-F4» system have better tribotechnical characteristics and bearing strength as compared to traditional coatings. Particularly they have a lower friction coefficient and wear rate under the conditions of oil starvation and high unit loading.*

**Key words:** laser processing; babbitt B-83; stannum; molybdenum disulphide; molykote grease; machine parts surface; tribotechnical tests; wearability; coefficient of friction; coating.

#### **Authors:**

**Ipatov Aleksey Gennadyevich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: Ipatow.al@yandex.ru).

**Kharanzhevsky Yevgeny Viktorovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Head of Experimental Physics and Automated Experiment Laboratory. Udmurt State University (1, Universitetskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426034, e-mail: eh@udsu.ru).

**Strelkov Stanislav Mikhaylovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Shmykov Sergey Nikolayevich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

УДК 631.332.5

Н.Г. Касимов<sup>1</sup>, В.И. Константинов<sup>2</sup>, А.С. Кутявин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

<sup>2</sup>ООО «Техномаркет», г. Ижевск

## **КЛАССИФИКАЦИЯ РАССАДОПОСАДОЧНЫХ МАШИН ПО ОСНОВНЫМ ПРИЗНАКАМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

*В настоящее время большинство рассадопосадочных машин в России зарубежного производства, а это означает, что они имеют высокую стоимость обслуживания и зависимы от иностранного производителя. Статья направлена на поиск основных отличительных признаков существующих рассадопосадочных машин, распределение их по группам и проведение соответствующей классификации. Такое исследование позволит определить наиболее рациональное направление развития конструкций рассадопосадочных машин и сформулировать предъявляемые к ним требования. Проведен анализ существующих отечественных и зарубежных рассадопосадочных машин, отмечены их преимущества и недостатки. Выявлен основной конкурент отечественных машин – итальянская фирма «Hortech». Наиболее востребованными в хозяйствах являются полуавтоматические рассадопосадочные машины, в которых совмещен принцип работы ручных и автоматических машин. За счет этого уменьшается воздействие человеческого фактора на процесс посадки, но при этом человек контролирует процесс высадки рассады на всех стадиях и при необходимости может своевременно его скорректировать. В результате проведенного анализа предложена классификация рассадопосадочных машин по основным признакам функционирования. Наиболее важными и перспективными для дальнейшего исследования были выделены основные признаки функционирования: плоскостное движение рассады в рассадопосадочной машине и конструктивное исполнение рабочих органов машины. Сформулированы требования к выбору рассадопосадочной машины в конкретных условиях хозяйства.*

**Ключевые слова:** конструкция рассадопосадочных машин; отличительные признаки; классификация рассадопосадочных машин по признакам функционирования; рабочие органы машины.

На сегодняшний день большинство регионов Российской Федерации, занимающиеся выращиванием капусты белокочанной, используют рассадную технологию. Данная технология предусматривает, что в хозяйствах присутствует соответствующая техника и специалисты [2].

В настоящее время большинство рассадопосадочных машин в России зарубежного производства, а это означает, что они имеют высокую стоимость обслуживания и зависимы от иностранного производителя. Также следует учитывать, что такие машины сложны в эксплуатации и модернизации в условиях хозяйств.

Они требуют более щадящих условий работы по сравнению с отечественными машинами (выпущенными в 90-х годах).

Среди многообразия производителей рассадопосадочных машин можно выделить «Hortech», эта фирма занимает лидирующее место на мировом рынке и представляет весь спектр машин для выращивания капусты по наиболее перспективным технологиям ее возделывания.

Сильными сторонами компании являются:

- большое разнообразие выпускаемой техники (машины для обработки почвы, высадки рассады и уборки овощных);
- разработка инновационной продукции;
- внимание к потребностям клиентов и профессиональное послепродажное обслуживание;
- высокое качество и универсальность машин [5, 6].

Все это определяет данного производителя как главного конкурента отечественных предприятий.

В связи с ситуацией в мире следует учитывать, что необходимо создавать высокопроизводительные, легкие в обслуживании, широкого применения машины силами отечественных производителей, отвечающие требованиям сегодняшнего дня.

Выявление потребностей в создании новых рассадопосадочных машин и их конструкций позволит выбрать верное перспективное направление. Для этого необходимо провести анализ и выявить классификацию по нескольким основным признакам функционирования рассадопосадочных машин [4].

Большинство таких машин подразделяют на специализированные и унифицированные. Специализированные машины менее интересны из-за узкого спектра выполняемых работ и услуг.

Унифицированные рассадопосадочные машины наиболее распространены и подходят для выполнения большего количества операций.

Таким образом, проанализировав существующие признаки функционирования, можно сделать вывод, что имеются три типа рассадопосадочных машин: ручные, полуавтоматические с высаживающим аппаратом двух типов и автоматические.

Для полноты анализа обзор рассадопосадочных машин начнем с ручных, таким образом, получится градация от более примитивных к более совершенным.

Ручные рассадопосадочные машины (рис. 1) в настоящее время встречаются крайне редко. При их использовании главное влияние оказывает человеческий фактор, из-за этого необходим тщательный контроль всех параметров посадки. Такой вид рассадопосадочных машин является наиболее требовательным к подготовке поля. Низкая производительность и малая возможность модернизации делает машину непривлекательной для использования. К плюсам данной конструкции следует отнести ее простоту и долговечность. Учитывая, что машина не будет агрегатироваться с каким-либо трактором, следует иметь в виду минимальное негативное воздействие на почву. Недостатком является определенный запас рассады на самой машине и невозможность его увеличения.

Машина состоит из рамы, посадочной трубы с открывающимся клапаном, ручек, прикапывающего механизма, кассетодержателя [3]. Эта машина довольно удобна, но только в условиях совсем небольших хозяйств, с направленной деятельностью на выращивание овощей открытого грунта. Высокие трудозатраты ручной машины экономически невыгодны, также большое влияние оказывает человеческий фактор и низкая производительность.

Как показывает краткий анализ, ручные рассадопосадочные машины не являются перспективными с точки зрения внедрения в массовое производство.

Следующими в иерархии выступают полуавтоматические машины с двумя видами высаживающего аппарата.

Полуавтоматические рассадопосадочные машины наиболее распространены как в России, так и во всем мире.



Рисунок 1 – Ручная рассадопосадочная машина PPM-1

Они являются достаточно удобными для посадки любой рассады, а многие унифицированы для высадки саженцев деревьев. Данные машины можно использовать практически на любом поле [3].

Одной из интересующих нас машин является рассадопосадочная машина, представленная на рис. 2.

Основными частями машины являются: привод и транспортеры для перемещения горшочков с рассадой от питающего устройства к выталкивателям, которые поочередно выталкивают по одному горшочку в трубопроводы [1].

В машине используется кривошипно-шатунный механизм с выталкивателями, и воздействие их на рассаду приводит к ее повреждению, стряхиванию питательного грунта с корневой системы, то есть к снижению приживаемости и гибели растений [1]. Большая высота неконтролируемого свободного падения рассады по трубопроводу при попадании в борозду также приводит к повреждению рассады. При этом отсутствует конструктивная возможность перенастройки машины для последовательной посадки с различным междурядьем.

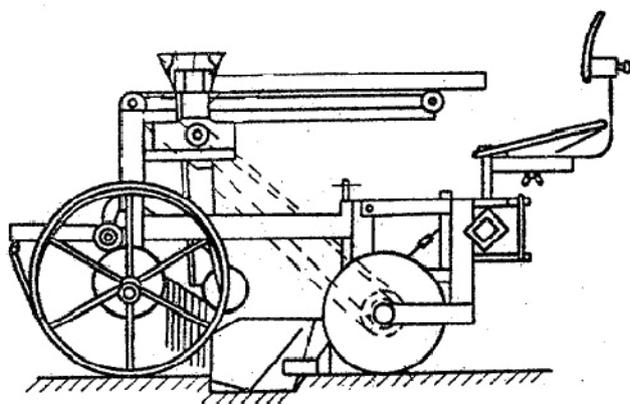


Рисунок 2 – Рассадопосадочная машина. А.с. СССР 1713470А1 МПК А01С11

Наиболее распространенной полуавтоматической машиной является модель, представленная на рис. 3.

Наиболее интересными частями машины являются: высаживающий аппарат револьверного типа с приемным устройством овальной формы и двенадцатью стаканчиками, перемещающимися разнонаправленно, обеспечивая подачу рассады на два ряда [5].

Недостатком устройства является необходимость в дополнительном трубопроводе для вертикального перемещения рассады от питателя к сошнику. Вертикальное перемещение рассады от стаканов к сошнику происходит за счет неконтролируемого свободного падения рассады. Рассада, двигаясь через трубопровод, ударяется о его стенки, теряет часть питательного грунта корневой системы и повреждается, что приводит к снижению уровня приживаемости рассады. Дополнительная деталь – трубопровод – усложняет конструкцию машины.

В приемном устройстве двенадцать стаканов движутся друг за другом, последовательно доставляя рассаду на правый и левый рядки [5]. При этом габарит приемного устройства ограничивает максимальное расстояние между высаживаемыми рядками, а необходимость установки рассады в стаканы при их разнонаправленном движении требует высокой скорости и точности действий сажальщика, что приводит к его быстрой утомляемости и снижению производительности.

Очень интересной как в конструктивном, так и в технологическом плане является рассадопосадочная машина Hortech–DUE Manual (рис. 4).

Такая машина содержит несколько высаживающих блоков вертикального типа. При этом каждый блок включает в себя цепочный транспортер, вертикальные высаживающие элементы со стаканами, расположенными на внутренней раме [6].



Рисунок 3 – Рассадопосадочная машина Hortech-PRACTICA DUO



Рисунок 4 – Рассадопосадочная машина Hortech-DUE Manual

Машина обладает рядом недостатков. В состав каждого высаживающего блока входит индивидуальный привод, транспортер и вертикальные высаживающие элементы, что существенно усложняет конструкцию машины и ее настройку на необходимое междурядье. При этом на каждый высаживающий блок при междурядье 70 см и более необходимо выделять одного сажальщика, то есть количество сажальщиков должно быть равным количеству высаживаемых рядков, что ведет к увеличению затрат труда.

К недостаткам следует отнести вертикальное перемещение стаканов при работе рассадопосадочной машины, что повышает требования к точности установки рассады в стакан, приводит к быстрой утомляемости и снижению производительности труда сажальщика. При этом в каждом звене транспортера размещен всего один стакан под рассаду, что также снижает производительность рассадопосадочной машины.

После рассмотрения нескольких машин данного типа становится понятно, что усовершенствование в этой нише рассадопосадочных машин является наиболее перспективным.

Автоматическая рассадопосадочная машина позволяет снизить до минимума простои при ее использовании. Может изготавливаться в двух вариантах: навесная и самоходная. Данные машины рационально использовать в больших хозяйствах, специализирующихся на выращивании капусты. Наиболее распространенной автоматической рассадопосадочной машиной является FUTURA TWIN, именно ее мы и будем рассматривать в качестве прототипа автоматической машины.

Этот рассадопосадочный автомат разработан для пересадки рассады овощных культур из ячеек кассетной рассадницы (рис. 5).



Рисунок 5 – Автоматическая рассадопосадочная машина FUTURA TWIN

Для обслуживания данной машины требуется всего 1 оператор - для осуществления подачи рассады на щитки внутри загрузочных направляющих каждого отдельного высаживающего элемента [4].

Машина автоматически извлекает рассаду из ячеек при помощи выталкивателей цилиндрической формы различного диаметра, в соответствии с имеющимися отверстиями в нижней части используемой панели. Затем рассада вытягивается подвижными захватами и помещается ими в распределитель [4].

К недостаткам можно отнести повреждение рассады при выталкивании ее цилиндрами из ячеек. Также невозможен моментальный контроль за процессом посадки.

Автоматические рассадопосадочные машины довольно производительны, технологичны, затраты труда минимальны, качество и точность высадки на высоте, однако стоят такие машины, из-за сложности технологического процесса, довольно дорого. На территории Удмуртской Республики автоматические рассадопосадочные машины не получили широкого использования ввиду того, что климат и почвы не позволяют обрабатывать большие площади под капусту [3].

После проведения анализа стало ясно, что наиболее востребованными в хозяйствах являются полуавтоматические рассадопосадочные машины. В машинах совмещен принцип работы ручных и автоматических машин. За счет этого уменьшается воздействие человеческого фактора на процесс посадки, но при этом человек контролирует процесс высадки рассады на всех стадиях и при необходимости может своевременно его скорректировать.

Для того чтобы классификация по основным признакам функционирования имела законченный вид, необходимо выделить основные признаки и требования к машинам. Наиболее важными и перспективными для дальнейшего исследования были выделены основные признаки функционирования: плоскостное движение рассады в рассадопосадочной машине и конструктивное исполнение рабочих органов машины. Высокая значимость признаков обусловлена их влиянием на основные показатели исследуемого процесса. Составляя классификацию по данным признакам, были определены следующие группы машин и виды движения.

По автоматизации машины:

- ручные;
- полуавтоматические;
- автоматические.

По типу высаживающего аппарата:

- револьверного типа;
- вертикального типа;
- горизонтально-вертикального типа.

По виду высаживаемой рассады:

- выращенной в общем ящике;
- из ячеек;
- выращенной в торфяных таблетках.

По типу высаживающего стакана:

- универсальный;
- для рассады с голым корнем;
- для цилиндрических таблеток;
- для конусообразных таблеток;
- для треугольных таблеток.

По виду перемещения рассады в пространстве:

- горизонтальное;
- вертикальное;
- смешанное.

По способу укладки рассады в грунт:

- с сошником-бороздоделом;
- с открывающимся стаканчиком.

По способу привода высаживающего аппарата:

- вал отбора мощности;
- гидравлический двигатель;
- колесный привод.

Классификация наглядно представляет наиболее важные для рассмотрения аспекты конструкции рассадопосадочных машин.

Два основных параметра – вид движения и рабочие органы – определяют выполнение основных функций рассадопосадочными машинами. Это определяет дальнейшие развитие растения, таким образом, нарушение может привести к неисправимым последствиям.

Из-за многообразия рабочих органов и конструкций рам рассадопосадочных машин малопонятно, что является структурообразующим, в связи с этим необходимо выделить основные требования к технике:

1) машины должны высаживать рассаду, распределяя ее на поверхности почвы по возможности узкой полосой, с четко вымеренным междурядьем и расстоянием между высаживаемой рассадой. Процент огрехов не должен превышать 5–8%;

2) при посадке не должно быть поврежденных корней и листочков рассады, так как поврежденные саженцы больше подвержены болезням, их жизнеспособность ухудшается в несколько раз;

3) высаживаемый материал рассады капусты должен иметь три листочка и уже довольно крепкую корневую систему – это два основных фактора приживаемости рассады;

4) машины по посадке капусты должны быть просты по конструкции и обеспечивать повышение производительности труда по сравнению с другими видами посадки рассады;

5) прикатывание рассады для лучшего и плотного контакта корней с почвой и поддержания устойчивого вертикального положения.

### Список литературы

1. А.с. СССР 1713470А1 МПК А01С11/00 Рассадопосадочная машина / Г.А. Микаелян, Р.Д. Нурметов, С.А.Чернов – №4806520/15, заявлено 19.02.90.

2. Развитие овощеводства в Российской Федерации: состояние и перспективы: научное изд. / М.С. Бунин [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 224 с.

3. Касимов, Н.Г. К вопросу о применении рассадопосадочных машин в условиях УР / Н.Г. Касимов, А.В. Ботин // Наука, инновации и оборудование в современном АПК: Материалы Международной научно-практической конференции. В 3 т. 11–14 февраля 2014 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – Т. 3. – 240 с.

4. Касимов, Н.Г. Повышение эффективности рассадопосадочной машины./ Н.Г. Касимов, В.И. Константинов // Студенческая наука – устойчивому развитию агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской студенческой научной конференции. 17-20 марта 2015 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015. – 403 с.

5. Рассадопосадочная машина HORTECH PRACTICA DUO [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hortech.it/portal/default.asp?id=993&idcategoria=1178&lang=rus&sez=prodotti> (дата обращения 20.06.2014).

6. Рассадопосадочная машина HORTECH DUE MANUAL [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hortech.it/portal/default.asp?id=993&idcategoria=1163&lang=rus&sez=prodotti> (дата обращения 20.06.2014).

### Spisok literatury

1. А.с. СССР 1713470А1 МПК А01С11/00 Рассадопосадочная машина / Г.А. Микаелян, Р.Д. Нурметов, С.А.Чернов – №4806520/15, заявлено 19.02.90.

2. Razvitie ovoshhevodstva v Rossijskoj Federacii: sostojanie i perspektivy: nauchnoe izd. / M.S. Bunin [i dr.]. – М.: FGNU «Rosinformagroteh», 2010. – 224 с.

3. Kasimov, N.G. K voprosu o primenenii rassadoposadochnyh mashin v uslovijah UR / N.G. Kasimov, A.V. Botin // Nauka, innovacii i oborudovanie v sovremennom APK: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. V 3 t. 11–14 fevralja 2014 g. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2014 – Т. 3 – 240 с.

4. Kasimov, N.G. Povyshenie jeffektivnosti rassadoposadochnoj mashiny./ N.G. Kasimov, V.I. Konstantinov // Studencheskaja nauka – ustojchivomu razvitiju agropromyshlennogo kompleksa: Materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii. 17-20 marta 2015 g. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2015. – 403 с.

5. Rassadoposadochnaja mashina HORTECH PRAC-TICA DUO [Jelektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.hortech.it/portal/default.asp?id=993&idcategoria=1178&lang=rus&sez=prodotti> (data obrashhenija 20.06.2014).

6. Rassadoposadochnaja mashina HORTECH DUE MANUAL [Jelektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.hortech.it/portal/default.asp?id=993&idcategoria=1163&lang=rus&sez=prodotti> (data obrashhenija 20.06.2014).

**Сведения об авторах:**

**Касимов Николай Гайсович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: nikolakas@list.ru).

**Константинов Валентин Игоревич** – инженер. ООО «Техномаркет» (426049, Россия, г. Ижевск, ул. Дружбы, 30, e-mail: info@TMT18.ru).

**Кутявин Алексей Сергеевич** – инженер. ООО «Техномаркет» (426049, Россия, г. Ижевск, ул. Дружбы, 30, e-mail: info@TMT18.ru).

N.G. Kasimov<sup>1</sup>, V.I. Konstantinov<sup>2</sup>, A.S. Kutyavin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Agricultural Academy;

<sup>2</sup> LLC «Tekhnomarket», Izhevsk

**CLASSIFICATION OF PLANTING MACHINES ACCORDING TO MAIN FUNCTIONING CHARACTERISTICS**

*Nowadays the majority of planting machines in Russia are foreign-manufactured, consequently they have high service costs and depend on foreign manufacturers. The article is focused on searching for main distinguishing characteristic features of existent planting machines, sorting them into different groups and making an appropriate classification. This research allows determining the most efficient way of planting machines construction developing and formulating specified requirements for them. The analysis of modern Russian and foreign planting machines is conducted; their advantages and disadvantages are also mentioned. The main competitor of Russian machines is an Italian enterprise «Hortech». During the research it became clear that the most demanded planting machines in farms are semi-automatic ones. These machines combine the automatic and hand-power work principles. Due to this fact the human factor influence on the planting process decreases, but at the same time a human controls this process on all stages and can correct it in time when it is necessary. As a result of analysis the classification based on main functioning characteristics was offered. The following functioning characteristics were considered as most important and prospective: sheet movement of sprouts in a planting machine and embodiment of machine working parts. The requirements to the planting machine selection in specific agricultural situations are formulated.*

**Key words:** *planting machines construction; characteristics; classification of planting machines according to main functioning characteristics; machine working parts.*

**Authors:**

**Kasimov Nikolay Gaisovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: nikolakas@list.ru).

**Konstantinov Valentin Igorevich** – Engineer. LLC «Tekhnomarket» (30, Druzhby street, Izhevsk, Russian Federation, 426049, e-mail: info@TMT18.ru).

**Kutyavin Aleksey Sergeevich** – Engineer. LLC «Tekhnomarket» (30, Druzhby street, Izhevsk, Russian Federation, 426049, e-mail: info@TMT18.ru).

УДК 536.7-631.152

Г.А. Кораблев<sup>1</sup>, П.Л. Максимов<sup>1</sup>, В.И. Кодолов<sup>2</sup>, Н.Г. Петрова<sup>3</sup>, П.Б. Акмаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова;

<sup>3</sup> Агентство информатизации и связи УР, г. Ижевск

**S-ЛИНИИ И ЭНТРОПИЙНЫЕ НОМОГРАММЫ**

*Аналогично представлениям термодинамики о статистической энтропии использовано понятие энтропии для пространственно-энергетических взаимодействий. Само понятие энтропии возникло на основе второго закона термодинамики и представлениях о приведенном количестве теплоты. Эти положения являются общими утверждениями, не зависящими от микроскопических моделей. Поэтому их*

применение и рассмотрение может иметь большое число следствий, которые наиболее плодотворно используются также статистической термодинамикой. В данном исследовании делается попытка применения таких закономерностей к оценке степени пространственно-энергетических взаимодействий с использованием их графической зависимости и в других областях. Получена номограмма для оценки энтропии различных процессов. Обсуждается многоплановость проявлений энтропии, в том числе в биологических процессах, в экономике и в технических системах.

**Ключевые слова:** энтропия; номограмма; пространственно-энергетический параметр; биофизические процессы; бизнес; технические системы.

## 1. Введение

В статистической термодинамике энтропия изолированной и находящейся в равновесии системы равна логарифму вероятности нахождения ее в определенном макросостоянии:

$$S = k \ln W, \quad (1)$$

где  $W$  – число доступных состояний системы или степень вырождения микросостояний;  $k$  – постоянная Больцмана.

Или:  $W = e^{S/k}$  (2)

Эти соотношения являются общими утверждениями, имеющими макроскопический характер, не содержат никаких ссылок на элементы структур рассматриваемых систем и полностью не зависят от микроскопических моделей [7]. Поэтому применение и рассмотрение этих законов может иметь большое число следствий.

При этом основной характеристикой процесса является термодинамическая вероятность –  $W$ . В реальных процессах в изолированной системе рост энтропии неизбежен – в системе нарастает беспорядок, хаос, идет понижение качества внутренней энергии.

Термодинамическая вероятность равна числу микросостояний, отвечающих данному макросостоянию.

Поскольку степень вырождения системы никак не связана с физическими особенностями систем, статистическое понятие энтропии может иметь и другие применения и проявления (кроме статистической термодинамики).

«Ясно, что из двух совершенно разных по своему физическому содержанию систем энтропия может быть одинаковой, если у них число возможных микросостояний, отвечающих одному макропараметру (неважно, какой это параметр), совпадают. Именно поэтому понятие энтропии можно использовать в самых разнообразных областях. Возрастающая самоорганизация человеческого общества ... приводит к возрастанию энтропии и беспорядка в окружающей среде, что выражается, в частности, в появлении громадного числа рассеянных по Земле свалок» [1].

В данном исследовании делается попытка применения понятия энтропии к оценке степени пространственно-энергетических взаимодействий с использованием их графической зависимости и в других областях.

## 2. Энтропийная номограмма степени пространственно-энергетических взаимодействий

На основе модифицированного уравнения Лагранжа для относительного движения двух взаимодействующих материальных точек было введено представление о пространственно-энергетическом параметре ( $P$ -параметре), который является комплексной характеристикой важнейших атомных величин, ответственной за межатомные взаимодействия и имеющей прямую связь с электронной плотностью в атоме [9].

В качестве основной количественной характеристики структурных взаимодействий в конденсированных средах использовалась величина относительной разности  $P$ -параметров взаимодействующих атомов-компонентов – коэффициент  $\alpha$  структурного взаимодействия:

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{(P_1 + P_2)/2} \cdot 100\% \quad (3)$$

Применяя надежные экспериментальные данные, получили номограмму зависимости степени структурных взаимодействий ( $\rho$ ) от коэффициента  $\alpha$ , единую для широкого класса структур (рис. 1). Данный подход дал возможность оценить степень и направление структурных взаимодействий процессов фазообразования, изоморфизма и растворимости в многочисленных системах, в том числе в молекулярных.

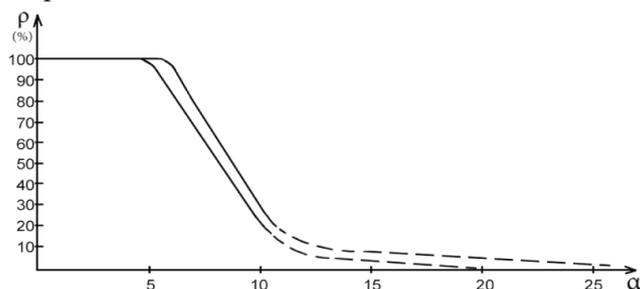


Рисунок 1 - Номограмма зависимости степени структурных взаимодействий ( $\rho$ ) от коэффициента  $\alpha$

Такая номограмма может быть представлена [9] и в виде логарифмической зависимости:

$$\alpha = \beta(\ln \rho)^{-1}, \quad (4)$$

где коэффициент  $\beta$  – постоянная величина для данного класса структур. От среднего значения величина  $\beta$  структурно может изменяться в основном только в пределах  $\pm 5\%$ . Таким образом, величина  $\alpha$  обратно пропорциональна логарифму степени структурных взаимодействий и поэтому может характеризоваться как энтропия пространственно-энергетических взаимодействий атомно-молекулярных структур.

Действительно, чем больше  $\rho$ , тем более вероятно образование стабильных упорядоченных структур (например, образование твердых растворов), то есть тем меньше энтропия процесса. Но тем меньше и коэффициент  $\alpha$ .

Уравнение (4) не имеет полной аналогии с уравнением (1) Больцмана, так как в данном случае сравниваются не абсолютные, а только относительные значения соответствующих характеристик взаимодействующих структур, которые могут выражаться в процентах. И это касается не только коэффициента  $\alpha$ , но и сравнительной оценки степени структурных взаимодействий ( $\rho$ ), например, процент содержания атомов данного элемента в твердом растворе относительно общего числа атомов. Поэтому в уравнении (4) коэффициент  $k = 1$ .

Вывод: относительная разность пространственно-энергетических параметров взаимодействующих структур может быть количественной характеристикой энтропии взаимодействия:  $\alpha \equiv S$ .

### 3. Энтропийная номограмма поверхностно-диффузионных процессов

В качестве примера рассмотрим процесс карбонизации и формирования наноструктур при взаимодействиях в гелях поливинилового спирта и металлической фазы в виде оксидов или хлоридов меди. На первом этапе образуются малые кластеры неорганической фазы, окруженные углеродосодержащей фазой. В этот период основной характер атомно-молекулярных взаимодействий должен оцениваться через относительную разность R-параметров, рассчитанных через радиусы ионов меди и ковалентные радиусы атомов углерода.

В следующем основном периоде карбонизации идет образование металлической фазы непосредственно на поверхности образующихся полимерных структур.

С этого времени начинается процесс формирования бинарной матрицы наносистемы C→Cu. Были вычислены значения зависимости степени структурных взаимодействий от коэффициента  $\alpha$ , то есть  $\rho_2 = f(1/\alpha_2)$  – кривая 2, представленная на рис. 2. Здесь приведена также графическая зависимость степени образования нанопленок ( $\omega$ ) от времени процесса по данным [2] – кривая 1 и ранее полученная номограмма энтропии в виде  $\rho_1 = f(1/\alpha_1)$  – кривая 3.

Анализ всех полученных графических зависимостей показывает почти полное графическое совпадение всех трех графиков:  $\omega = f(t)$ ,  $\rho_1 = f(1/\alpha_1)$ ,  $\rho_2 = f(1/\alpha_2)$  с небольшими отклонениями в начале и в конце процесса.

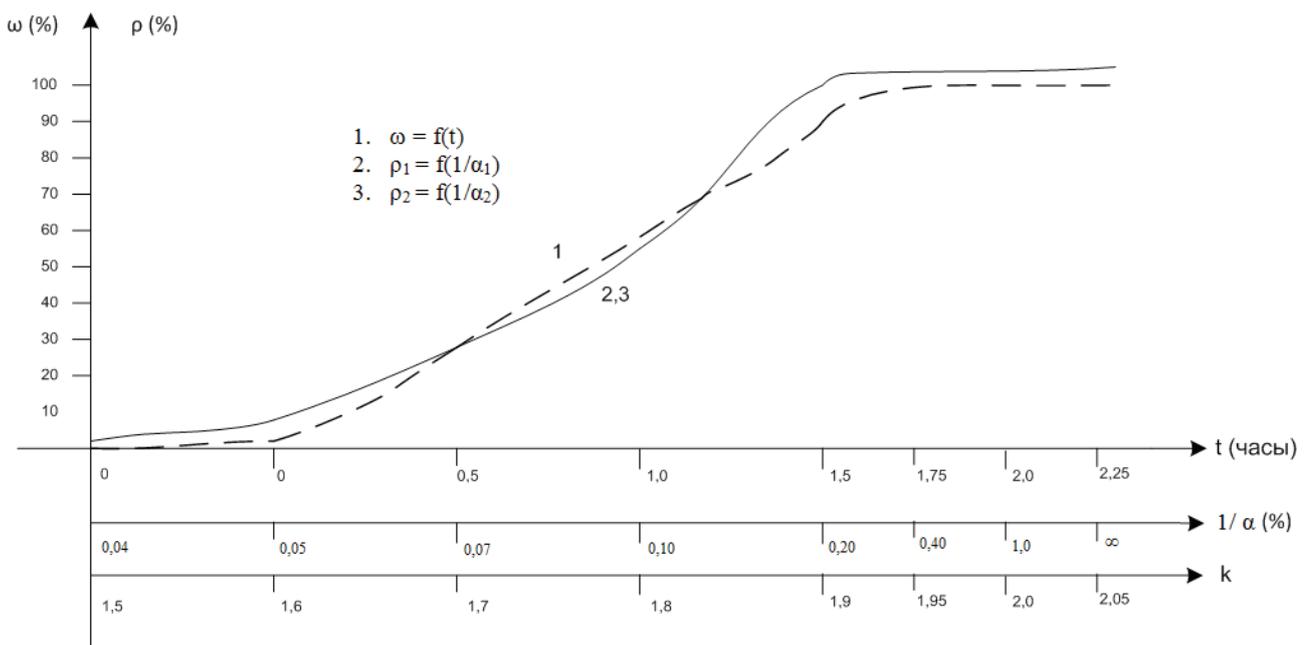


Рисунок 2 – Зависимость скорости карбонизации от коэффициента  $\alpha$

Таким образом, скорость карбонизации, как и функции многих других физико-химических структурных взаимодействий, могут непосредственно оцениваться через значения рассчитанных величин коэффициента  $\alpha$  и энтропийную номограмму.

#### 4. Номограммы биофизических процессов

##### 1) О кинетике ферментативных процессов

«Необходимым этапом ферментативного катализа является образование фермент-субстратного комплекса ... При этом к молекуле фермента может присоединиться  $n$  молекул субстрата» [5, с. 58].

Для ферментов со стехиометрическим коэффициентом  $n$ , отличным от единицы, вид графической зависимости скорости наработки продукта реакции ( $\mu$ ) от концентрации субстрата ( $c$ ) имеет [5] сигмоидный тип с характерной точкой перегиба (рис. 3).

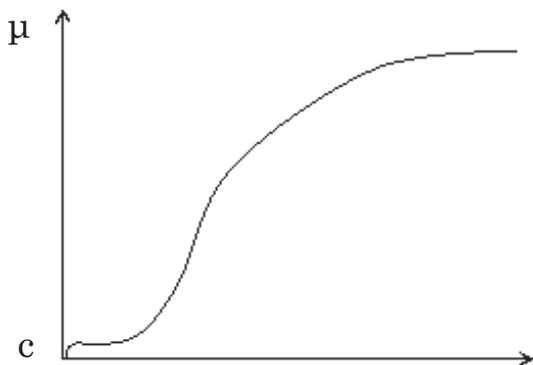


Рисунок 3 – Зависимость скорости ферментативной реакции ( $\mu$ ) от концентрации субстрата ( $c$ )

На рис. 3 видно, что эта кривая повторяет в целом характер энтропийной номограммы на рис. 2.

Аналогичный вид имеет график зависимости скорости электронного транспорта в биоструктурах от времени диффузии ионов [5, с. 278].

И в методике оценки ферментативных взаимодействий (аналогично использованной в параграфе 3 методике для поверхностно-диффузионных процессов) применяется эффективное число взаимодействующих молекул, которое больше 1.

В методологии Р-параметра фермент имеет ограниченное изоморфное сходство с молекулами субстрата и не образуют с ним стабильного соединения, но при этом возможна такая ограниченная перестройка химических связей, которая будет «настроена» на получение конечного продукта.

##### 2) Зависимость биофизических критериев от их частотных характеристик

а) Прохождение переменного тока через живые ткани характеризуется дисперсионной кривой электропроводности – это графическая зависимость полного сопротивления ткани ( $z$ -импеданс) от логарифма частоты переменного тока ( $\log \omega$ ). В норме такая кривая, на которой по оси ординат откладывается импеданс, а по оси абсцисс –  $\log \omega$ , формально полностью соответствует энтропийной номограмме (рис. 1).

б) Флуктуации проводимости биомембран (обусловленные случайными процессами) «имеют вид кривой Лоренца» [6, с. 99]. В этом графике спектральная плотность флуктуаций ( $\rho$ ) откладывается на оси ординат, а функция логарифма частоты ( $\log \omega$ ) – на оси абсцисс.

Вид такой кривой тоже соответствует энтропийной номограмме на рис. 1.

#### 5. Кривая Лоренца пространственно-временной зависимости

В кривой Лоренца [8] дана пространственно-временная графическая зависимость (рис. 4) параметра скорости ( $\Theta$ ) от самой скорости ( $\beta$ ), которая полностью аналогична энтропийной номограмме на рис. 2.

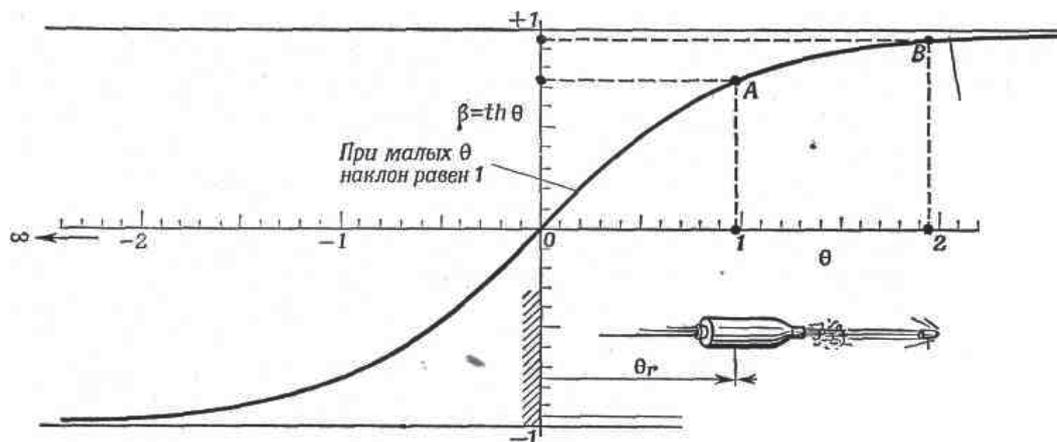


Рисунок 4 – Связь между параметром скорости  $\Theta$  и самой скоростью  $\beta = th\Theta$

**6. Энтروпийные критерии в бизнесе и в природе**

Основные свойства системы свободного рынка, обеспечивающие ее экономические преимущества, – это эффективная конкуренция и максимальная личная заинтересованность каждого сотрудника.

Но на различных уровнях концентрации экономики эти первопричинные особенности функционируют и проявляют себя по-разному. Наибольшая их эффективность соответствует малому бизнесу, когда число членов организации минимально, более четкая личная заинтересованность и активная конкурентная борьба за выживание. По мере укрупнения предприятий и производств, с увеличением численности персонала роль каждого из них постепенно снижается, уменьшается конкурентная борьба, так как появляются новые возможности для согласованных действий разных бизнес-структур. Идет снижение качества экономических отношений в бизнесе, то есть возрастание энтропии. Более всего такой процесс характерен в моноструктурах на крупнейших предприятиях большого бизнеса (синдикаты и картели).

Понятие термодинамической вероятности как числа микросостояний, отвечающих данному макросостоянию, можно модифицировать применительно к процессам экономических взаимоотношений, которые напрямую зависят от параметров бизнес-структур.

За макросостояние системы можно принять данную отдельную бизнес-структуру, а за число микросостояний – число ее сотрудников (N), которое есть число доступных наиболее вероятных состояний данной бизнес-структуры. Таким образом, предполагается, что такое число сотрудников бизнес-структуры является аналогом термодинамической вероятности применительно к процессам экономических взаимоотношений в бизнесе.

Поэтому можно принять, что общая энтропия качества бизнеса состоит из двух энтропий, характеризующих: уменьшение эффективности конкуренции (S<sub>1</sub>) и уменьшение личной заинтересованности каждого сотрудника (S<sub>2</sub>), то есть: S=S<sub>1</sub> + S<sub>2</sub>. Величина S<sub>1</sub> пропорцио-

нальна числу работников предприятия: S ~ N, а величина S<sub>2</sub> имеет сложную зависимость не только от числа работников предприятия, но и от эффективности самого управления им. Она обратно пропорциональна персональной заинтересованности каждого сотрудника. Поэтому можно принять, что S<sub>2</sub> = 1/γ, где γ – коэффициент личной заинтересованности каждого сотрудника.

По аналогии с уравнением Больцмана (1) получаем:

$$S = (S_1 + S_2) \sim \left[ \ln N + \ln \left( \frac{1}{\gamma} \right) \right] \sim \ln \left( \frac{N}{\gamma} \right)$$

или  $S = k \ln \left( \frac{N}{\gamma} \right)$ ,

где k – коэффициент пропорциональности.

Здесь N показывает, во сколько раз данная бизнес-структура больше эталонной структуры малого бизнеса, при которой N = 1, то есть эта величина не имеет наименования.

Для нетермодинамических систем, когда учитываются не абсолютные, а относительные значения величин, принимаем k = 1. Поэтому:

$$S = \ln \left( \frac{N}{\gamma} \right) \tag{5}$$

В таблице приведены примерные расчеты бизнес-энтропии по уравнению (5) для трех основных уровней бизнеса: малого, среднего и крупного. При этом предполагалось, что число N соответствует некоторому среднему значению из наиболее вероятных величин.

При расчете коэффициента личной заинтересованности γ учитывалось, что он может меняться от 1 (один сотрудник работает только сам на себя) до 0 (если такой работник как бесправный раб), и для наиболее крупных предприятий принималось γ = 0,1–0,01.

Несмотря на приближенную точность таких усредненных расчетов, можно сделать достаточно достоверный вывод о том, что энтропия бизнеса с укрупнением его структур резко возрастает при переходе именно от среднего к крупному бизнесу, так как снижается качество бизнес-процессов. [3]

В термодинамике считается, что неконтролируемый рост энтропии ведет к прекращению всяких макроизменений в системах, то есть к их гибели.

**Рост энтропии по мере укрупнения бизнеса**

Параметры структур	Бизнес		
	малый	средний	крупный
N <sub>1</sub> – N <sub>2</sub>	10 – 50	100 – 1000	10000 – 100000
γ	0,9 – 0,8	0,6 – 0,4	0,1 – 0,01
S	2,408 – 4,135	5,116 – 7,824	11,513 – 16,118
<S>	3,271	6,470	13,816

Поэтому актуальной является задача поиска методов снижения неконтролируемого роста энтропии в крупном бизнесе. При этом критические значения энтропии относятся в основном именно к крупному бизнесу. Простое сокращение численности его сотрудников не может дать реального результата уменьшения энтропии. Так, сокращение числа работников на 10% дает уменьшение у них энтропии только на 0,6% и это при общих негативных явлениях безработицы, которая неизбежно сопровождается такой процесс.

Поэтому для таких сверхмоноструктур, не контролируемых ни государством, ни обществом, в целях уменьшения энтропии бизнеса более реален путь демонополизации без оптимизации (то есть без сокращения общего числа сотрудников).

Сравнение номограммы (рис. 1) с данными таблицы показывает аддитивность численных величин энтропии бизнеса (S) со значениями коэффициента пространственно-энергетических взаимодействий ( $\alpha$ ), то есть  $S=\alpha$ .

Известно также, что максимально приемлемое для стабильной атомно-молекулярной системы число атомов в полимерной цепи составляет около 100 единиц, что в кубическом объеме дает  $10^6$ . И тогда снова получаем  $\lg 10^6 = 6$ .

### 7. S-кривые («линии жизни»)

Еще в прошлом веке были установлены [4] некоторые общие закономерности развития некоторых биологических систем в зависимости от времени (рост численности колоний бактерий, популяции насекомых, массы развивающегося плода и т.п.). Кривые, отражающие этот рост, были похожи в первую очередь тем, что на каждой из них можно было довольно четко выделить три последовательных этапа: медленное нарастание, быстрый лавинообразный рост и стабилизация (иногда убывание) численности (или другой характеристики). Позже было показано, что аналогичные этапы проходят в своем развитии и различные технические системы. Кривые, построенные в системе координат, где по вертикали откладывали численные значения одной из главных эксплуатационных характеристик системы (например, скорость самолета, мощность электрогенератора и т.п.), а по горизонтали – «возраст» технической системы или затраты на ее развитие, получили название S-образных (по внешнему виду кривой), или также иногда называют «линии жизни».

В качестве примера приведен [4] график изменения удельной прочности стали во времени (по годам) – рис. 5.



Рисунок 5 – Зависимость удельной прочности сталей от времени

Таким образом, очевидна аналогия S-кривых с энтропийной номограммой на рис. 2.

И в данном случае, как и ранее, временная зависимость (t) пропорциональна обратной величине энтропии ( $1/a$ ). Применительно к бизнесу такие кривые характеризуют интенсивность процесса, например продажи данной продукции.

В то же время энтропийные номограммы в соответствии с рис. 1 оценивают качество бизнеса (ордината на таких графиках).

Как известно, энтропия изолированных систем не убывает. В открытых системах рост энтропии компенсируется отрицательной энтропией за счет взаимодействия с внешней средой.

Все рассмотренные выше системы можно рассматривать как системы открытые. Это относится и к пространственно-энергетическим процессам, при которых всякое изменение размерных энергетических характеристик обусловлено взаимодействием с внешними системами.

Очевидно, это же наблюдается по отношению к техническим и технологическим системам, в динамике развития которых идут дополнительные инновации, модификации и финансовые инвестиции.

Энтропия в термодинамике рассматривается как мера необратимого рассеивания энергии. С позиции технологических и экономических принципов энтропия, по существу, является мерой нерационального расходования энергетических ресурсов. С увеличением временной зависимости такие процессы стабилизируются в соответствии с номограммами до наиболее оптимальных значений – вместе с ростом антиэнтропии, то есть величины  $1/a=1/p$ .

Аналогичный рост во времени рациональности технологических, экономических и физико-химических параметров свидетель-

ствуется о том, что такие номограммы имеют универсальный характер для большинства основных процессов в природе, технологии и экономике.

**Общий вывод.** Понятие энтропии имеет многоплановое проявление в физико-химических, экономических, технических и других природных процессах, что подтверждают их номограммы.

### Список литературы

1. Грибов, Л.А. Основы физики / Л.А. Грибов, Н.И. Прокофьева. – М.: Высшая школа, 1992. – 430 с.
2. Активность наноструктур и проявление ее в нанореакторах полимерных матриц и в активных средах / В.И. Кодолов, Н.В. Хохряков, В.В. Тринева [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 448-460.
3. Энтропия бизнеса / Г.А. Кораблев, Н.Г. Петрова, Р.Г. Кораблев [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1. – С. 76-79.
4. Кынин, А.Т. Оценка параметров технических систем с использованием кривых роста [Электрон. ресурс] / А.Т. Кынин, В.А. Лентяшин. – Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html>.
5. Рубин, А.Б. Биофизика. Кн. 1. Теоретическая биофизика / А.Б. Рубин. – М.: Высш. шк., 1987. – 319 с.
6. Рубин А.Б. Биофизика. Кн.2. Биофизика клеточных процессов / А.Б. Рубин. – М.: Высш. шк., 1987. – 303 с.
7. Рейф, Ф. Статистическая физика / Ф. Рейф. – М.: Наука, 1972. – 352 с.

### Сведения об авторах:

**Кораблев Григорий Андреевич** – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физики. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: korablevga@mail.ru).

**Максимов Павел Леонидович** – доктор технических наук, профессор, декан агроинженерного факультета. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: maksimovpl@mail.ru).

**Кодолов Владимир Иванович** – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии. Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426000, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, e-mail: kodol@istu.ru).

**Петрова Наталья Григорьевна** – специалист-эксперт отдела информационной безопасности и связи. Агентство информатизации и связи УР (426008, Россия, г. Ижевск, ул. В. Сивкова, 186, e-mail: biakaa@mail.ru).

**Акмаров Петр Борисович** – кандидат экономических наук, профессор, проректор по учебной работе. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, тел. (3412) 58-99-36).

G.A. Korablev<sup>1</sup>, P.L. Maksimov<sup>1</sup>, V. I. Kodolov<sup>2</sup>, N.G. Petrova<sup>3</sup>, P.B. Akmarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Agricultural Academy;

<sup>2</sup> Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov;

<sup>3</sup> Agency of Information Technology and Communications of the Udmurt Republic, Izhevsk

### S-LINES AND ENTROPIC NOMOGRAMS

*The concept of the entropy of spatial-energy interactions is used similarly to the ideas of thermodynamics on the static entropy. The idea of entropy appeared on the base of the second law of thermodynamics and ideas of the adduced quantity of heat. These rules are general assertions independent of microscopic models. Therefore,*

8. Тэйлор, Э.Ф. Физика пространства-времени / Дж. А. Уилер, Э.Ф. Тэйлор. – М.: Мир, 1987. – 320 с.

9. Korablev, G.A. Spatial-Energy Principles of Complex Structures Formation / G.A. Korablev. – Brill Academic Publishers and VSP, Netherlands, 2005. – 426 pp. (Monograph).

### Spisok literatury

1. Gribov, L.A. Osnovy fiziki / L.A. Gribov, N.I. Prokof'eva. – М.: Vysshaja shkola, 1992. – 430 s.
2. Aktivnost' nanostruktur i pojavlenie ee v nanoreaktorah polimernyh matric i v aktivnyh sredah / V.I. Kodolov, N.V. Hohrjakov, V.V. Trineeva [i dr.] // Himicheskaja fizika i mezoskopija. – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 448-460.
3. Jentropija biznesa / G.A. Korablev, N.G. Petrova, R.G. Korablev [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii. – 2013. – № 1. – С. 76-79.
4. Kynin, A.T. Ocenka parametrov tehniceskikh sistem s ispol'zovaniem krivyh rosta [Jelektron. resurs] / A.T. Kynin, V.A. Lenjashin. – Rezhim dostupa: <http://www.metodolog.ru/01428/01428.html>.
5. Rubin, A.B. Biofizika. Kn. 1. Teoreticheskaja biofizika / A.B. Rubin. – М.: Vyssh. shk., 1987. – 319 s.
6. Rubin A.B. Biofizika. Kn.2. Biofizika kletocnyh processov / A.B. Rubin. – М.: Vyssh. shk., 1987. – 303 s.
7. Rejff, F. Statisticheskaja fizika / F. Rejff. – М.: Nauka, 1972. – 352 s.
8. Tjejlор, Je.F. Fizika prostranstva-vremeni / Dzh. A. Uiler, Je.F. Tjejlор. – М.: Mir, 1987. – 320 s.
9. Korablev, G.A. Spatial-Energy Principles of Complex Structures Formation / G.A. Korablev. – Brill Academic Publishers and VSP, Netherlands, 2005. – 426 pr. (Monograph).

their application and consideration can result in a large number of consequences which are most fruitfully used in statistic thermodynamics. In this research we are trying to apply the concept of entropy to assess the degree of spatial-energy interactions using their graphic dependence and in other fields. The nomogram assessing the entropy of different processes is obtained. The diversity of entropy manifestations is discussed including biochemical processes, economics and engineering systems.

**Key words:** entropy; nomogram; spatial-energy parameter; biophysical processes; business; engineering systems.

**Authors:**

**Korablev Grigoriy Andreevich** – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Physics Department. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: korablevga@mail.ru).

**Maksimov Pavel Leonidovich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean of Agricultural Engineering Faculty. Izhevsk State Agricultural Academy (426069 9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: maksimovpl@mail.ru).

**Kodolov Vladimir Ivanovich** – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Chemistry and Chemical Technology Department. Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov (7, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: kodol@istu.ru).

**Petrova Natalya Grigorievna** – specialist expert, Information Security and Communications Department. Agency of Information Technology and Communications of the Udmurt Republic (186, V. Sivkov street, Izhevsk, Russian Federation, 426008, e-mail: biakaa@mail.ru).

**Akmarov Petr Borisovich** – Candidate of Economical Sciences, Professor, Vice-rector for academic affairs. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-36).

УДК 631.171:338.364

П.Л. Максимов<sup>1</sup>, А.Г. Иванов<sup>1</sup>, А.А. Мохов<sup>2</sup>, В.А. Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

<sup>2</sup>ООО ТРК «Прогресс», г. Ижевск

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

На сегодняшний день техническое развитие сельского хозяйства шло и идет по пути наращивания мощности сельскохозяйственных машин. Целью исследования стал анализ проблем сельского хозяйства, решением которых является роботизация. Анализ результатов внедрения роботов в сельское хозяйство зарубежных стран показал несколько существенных положительных сторон роботизации: устранение «человеческого фактора»; повышение качества и экологичности продукции; снижение себестоимости продукции; снижение энергетических затрат; повышение эффективности производства и производительности труда; увеличение контролируемости и предсказуемости производства. Повышение производительности и интенсификации труда в сельскохозяйственном производстве с помощью робототехники может быть достигнуто только на основе автоматизации рутинных и алгоритмизуемых операций в интеллектуальной и производственной деятельности человека при комплексной автоматизации гибких производственных систем. Одна из основных причин повышенного внимания к надежности роботов в сельскохозяйственном производстве связана с трудностью организации технического обслуживания и ремонта, с отсутствием технических средств и специалистов. Отставание отечественной робототехники от мирового уровня наблюдается не только по показателям надежности, но и по материалоемкости, энергопотреблению, производительности, скорости, точности. Особенно это заметно в элементной базе устройств управления, приводах, в системах обучения, в области программного обеспечения. Объективные методы оценки экономической эффективности отсутствуют. Имеются недостатки в организации и проведении научных исследований. Выход из этого положения может быть только по пути перехода научных исследований на коммерческий принцип при условии государственного финансирования фундаментальных работ.

**Ключевые слова:** робототехника; автоматизация сельскохозяйственных работ; положительные и отрицательные стороны роботизации; технологические операции; системы управления; программное обеспечение.

**Актуальность.** Нас давно уже перестали удивлять роботы и роботизированные системы, использующиеся на промышленных предприятиях. С их помощью производится множе-

ство операций, от изготовления отдельных деталей до полной сборки готовых изделий. На складах работают роботы-погрузчики, способные самостоятельно проводить укладку изде-

лий на стеллажи. Роботы исследуют ближний и дальний космос. Глубоководные роботы помогают изучать просторы океанов. Но, как ни парадоксально, процесс тотальной роботизации производства почти не затронул такую важную отрасль, как сельское хозяйство.

На сегодняшний день техническое развитие сельского хозяйства шло и идет по пути наращивания мощности сельскохозяйственных машин. С увеличением мощности возрос и вес этих машин. Соответственно возрастает и давление на почву, что в свою очередь отрицательно сказывается на урожае. Что касается интеллекта, то у сельхозмашин он полностью отсутствует. Они являются лишь усилителями мышечной энергии управляющего ими человека.

Вопрос роботизации сельского хозяйства отнюдь не праздный, как может показаться на первый взгляд. Давно известно, что от обеспеченности продовольствием напрямую зависит не только благосостояние населения, но и обороноспособность страны. На фоне роста образованности населения применение в сельском хозяйстве отсталых технологий отпугивает молодежь. Сравните, например, условия работы на роботизированном комплексе промышленного предприятия и работу на тракторе в поле или на ферме. Добавьте к этому почти полное отсутствие ремонтных сервисов и удаленность многих хозяйств от промышленно развитых центров.

Указанные выше причины, хотя и являются значимыми, совсем не основные. Они лишь следствие сложившейся в сельском хозяйстве ситуации [1].

**Цель исследования:** анализ проблем сельского хозяйства, путем решения которых является роботизация.

**Объектом исследования** является применение робототехники в сельском хозяйстве.

**Результаты и их обсуждение.** Рассмотрим современные технологии роботизации сельско-

го хозяйства. В животноводстве уже давно применяются автоматизированные системы управления микроклиматом, раздачей кормов. Начали повсеместно внедряться различные роботы-дояры, появились роботы-пастухи.

Компанией «Lely» была разработана «Voyager» – система контроля над содержанием скота на пастбище. На вооружении датской фирмы уже имеются доильные роботы «Astronaut» и уборщики навоза «Discovery». «Voyager» – последняя автоматизированная разработка, замыкающая эту высокотехнологичную линейку (рис. 1). Фактически автоматическая ниточная система использует двух роботов для перемещения линии электрифицированного ограждения с шагом, гарантирующим полное поедание дерна на данном участке. Эксперимент, проведенный датской исследовательской организацией «Animal Science Group», показал, что метод фронтального выпаса увеличивает сохранность пастбищ на 12% по сравнению с чередующейся четырехдневной системой. Это увеличение выражается в экономии фуража (1,22 долл./л) или в возможном 90-литровом увеличении надоя с одной коровы с того же участка пастбища.

Системы «Voyager», протестированные в Северной Ирландии в прошлом году, в этом году будут доступны лишь в ограниченном количестве по приблизительной цене 30 000 долл. [2]. В тепличных хозяйствах управление микроклиматом, подкормкой растений и автополив применяются повсеместно и уже сравнительно давно. Например, робот, собирающий грибы («robotic mushroom picker»), – рис. 2. Данная машина с помощью системы камер идентифицирует и выбирает грибы по размеру, соответствующему стадии созревания. После этого робот собирает грибы, используя автоматизированную руку с присоской на конце. Пока он работает вдвое медленнее человека, зато без перерывов, круглосуточно. Исследователи надеются повысить скорость сбора [3].



Рисунок 1 – Робот «Voyager»



Рисунок 2 – Робот «Robotic mushroom picker»

Массачусетский стартап Harvest Automation (рис. 3) начал тестирование робота на гироскопах, который умеет очень быстро переносить горшки или ведра любого размера, аккуратно расставлять их в ряды на расстоянии друг от друга. Это основное занятие рабочих в рассаднике (питомнике) – фермерском хозяйстве, которое специализируется на выращивании молодых растений для пересадки. Их работа заключается в том, чтобы в начале сезона привезти огромное количество горшков/ведер, расставить их, а в конце сезона собрать и погрузить в транспорт, который отвозит товар на продажу.

Устройство «Valtra RoboTrac» (рис. 4), называть которое трактором, несомненно, было бы преуменьшением его способностей; на самом деле данный аппарат является роботом, а размеры его значительно уступают размерам трактора.

«RoboTrac» – полностью программируемый роботизированный работник, способный заменить целую команду фермеров. Данная машина умеет обрабатывать почву, сажать растения, опылять их, пропалывать, а также выполнять иные подобные функции [4].

«BoniRob» – прототип автономного полевого робота компании (рис. 5). Роботы, собирающие фрукты, автономно едущий трактор/распылитель и роботы, стригущие овец, предназначены для замены человеческого труда.

Индустрия сельского хозяйства отстает в использовании роботов от других параллельных отраслей, так как виды работ, сопряженные с сельским хозяйством, не «прямолинейны», и многие повторяющиеся задачи каждый раз не совсем те же самые. В большинстве случаев должно быть рассмотрено множество факторов (например, размер и цвет собираемых плодов) до начала выполнения задачи. Роботы могут быть использованы для других растениеводческих задач, таких как обрезка, прополка/пахота, орошение и мониторинг [5]. Робот «Prospero», изображенный на рис. 6, может

в корне изменить сельскохозяйственные технологии. Роботы «Prospero» являются прототипом будущего большого автоматизированного организма. В настоящее время у Дэвида Доерхута имеется группа шестиногих паукообразных роботов, способных обмениваться информацией и с максимальной эффективностью выполнять поставленную задачу, используя технологии «роя» и программное обеспечение, основанное на алгоритмах теории игр.

Роботы общаются между собой, используя инфракрасную беспроводную связь, и помечают места посадки семян или саженцев специальными маркерами. Благодаря этому система справляется с процессом посадки максимально быстро и учитывает при посадке особенности местности, включая состав почвы [6].

Канадская компания «Clearpath Robotics», специализирующаяся в области робототехники, разработала автоматизированную полноприводную беспилотную платформу «Grizzly Robot Utility Vehicle» (рис. 7), которая обещает справиться с самыми требовательными задачами сельскохозяйственной и горнодобывающей промышленности, а также задачами, связанными с оборонной промышленностью. Желто-черный робот снабжен четырьмя 26-дюймовыми вездеходными колесами (66 см) и передней осью с разворотом в 16 градусов. В сочетании с 8-дюймовой посадкой (20 см) «Grizzly» может преодолевать препятствия высотой до 6 дюймов (15 см). «Grizzly Robot Utility Vehicle» снабжен электродвигателем (60 кВт) мощностью 80 лошадиных сил, а его трансмиссия обеспечивает максимальную тяговую силу 6300 Н (1,400 фунт-силы). «Clearpath Robotics» рассказывает, что транспортное средство в состоянии тянуть плуг или перевозить полезный груз, вес которого может достигать до 1322 фунтов (600 кг). Встроенные внутренние датчики обеспечивают обратной связью, которая сообщает о состоянии робота.



Рисунок 3 – Робот-транспортник



Рисунок 4 – Робот «Valtra RoboTrac»



Рисунок 5 – Робот «BoniRob»

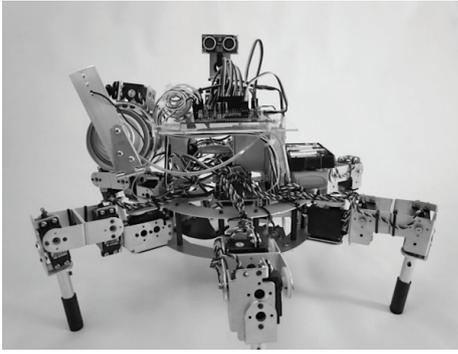


Рисунок 6 – Робот «Prospero»



Рисунок 7 – Робот «Grizzly Robot Utility Vehicle»

Размеры «Grizzly» составляют 68,9×50,5×31,9 дюйма (175×128×81 см), а максимальный вес 2000 фунтов (910 кг), в зависимости от типа выбранной батареи. При скорости 12 миль/ч (9 км/ч) он может работать до 12 часов или 3 часа в режиме тяжелой буксировки. Главный бортовой компьютер, отвечающий за контроль, поддерживает всю операционную систему робота. Для управления «Grizzly» использован планшет «Samsung Galaxy S3», который сделал робота универсальным. «Clearpath Robotics» не сообщили о цене робота, а рассказали о том, что «Grizzly» создан для выполнения только промышленных задач, но никак не потребительских [6].

После проведения анализа внедрения роботов в сельское хозяйство зарубежных стран можно выделить несколько существенных положительных сторон роботизации:

- устранение «человеческого фактора»;
- повышение качества и экологичности продукции;
- снижение себестоимости продукции;
- снижение энергетических затрат;
- повышение эффективности производства и производительности труда;
- увеличение контролируемости и предсказуемости производства.

Следует отметить негативные факторы, которые привели современное сельскохозяйственное производство к бездумному наращиванию используемых мощностей. Гонясь за экономией человеческих затрат, происходит наращивание мощности сельскохозяйственной техники, ее производительности. Однако наблюдается диспаритет в сторону увеличения мощности. Связан он с тем, что почвообрабатывающие машины и уборочные комплексы при существующем избытке мощности обрабатывают не саму сельскохозяйственную продукцию, а захватывают пласт земли вместе с продуктом. Эту почву надо переместить, измельчить и отсортировать от продукта. То есть

значительная доля энергии идет на обработку «лишней» почвы. Как следствие, значительно дорожает техника вследствие повышенных требований к ее прочности. Растут материальные и экономические затраты, а значительно не наблюдается роста производительности труда. Это проблема определяет тупиковый путь развития механизации производственных процессов (интенсивный путь развития). В случае экстенсивного пути развития человек прикладывает усилия, чтобы обработать необходимое количество почвы или убрать только готовую сельскохозяйственную продукцию. Но это не значит, что надо возвращаться в век «безмашинных» технологий. Следует использовать наряду с интенсивными технологиями и информационно-интеллектуальные методы. Именно использование автономных роботизированных систем позволит добиться существенного роста производительности труда. Но это уже совсем другой уровень ведения сельского хозяйства.

По мнению А.Н. Ананьева [7], сельское хозяйство в области применения робототехники не может подняться на новый уровень по следующим причинам:

- 1) использование робота рентабельно при условии, что он заменит не менее двух работающих, и его полной амортизации за период до трех лет, при этом учитывается, что экономический эффект от комплексной программы автоматизации всего технологического процесса выше, чем от внедрения робота для выполнения только одной технологической операции;
- 2) современные модели промышленных роботов нельзя использовать для выполнения технологических процессов, предполагающих ряд операций, поскольку помимо них агроботу приходится ориентироваться на местности;
- 3) необходимо разрабатывать специальные захватные устройства, алгоритмы управления, исполнительные устройства пыле- и вла-

гозащищенными, так как наиболее важное требование к сельскохозяйственной робототехнике – ее надежность;

4) специфика технологических процессов в сельском хозяйстве должна учитывать взаимодействие с растительными и животными объектами и поэтому требует изменения структуры существующих микропроцессорных систем управления, разработки и использования специальных сенсорных устройств;

5) трудность организации технического обслуживания и ремонта, отсутствие технических средств и специалистов;

6) производство систем контроля и диагностирования роботов требует больших дополнительных затрат, в связи с этим особую важность еще на этапе проектирования систем приобретает проведение научных исследований, которые позволили бы, используя минимальное количество аппаратных средств, получать достаточный объем информации о работоспособности объекта;

7) отставание отечественной робототехники от мирового уровня по показателям надежности, материалоемкости, энергопотреблению, производительности, скорости, точности, в области программного обеспечения, трудоемкость создания которого не учитывается, а она, как правило, превосходит трудоемкость создания аппаратных средств;

8) необходима строгая и объективная оценка экономической целесообразности создания и применения средств робототехники в определенных технологических процессах. В настоящее время объективные методы оценки экономической эффективности отсутствуют. Только их наличие позволит предприятиям выступить инициаторами в создании и использовании эффективных средств робототехники;

9) существенные недостатки в организации и проведении научных исследований. В институтах и высшей школе отсутствует необходимая экспериментальная база, позволяющая доводить фундаментальные исследования до промышленных образцов. Выход из этого положения может быть только по пути перехода научных исследований на коммерческий принцип при условии государственного финансирования фундаментальных работ; и др.

Работоспособность робототехнических систем характеризуется комплексом кинематических и динамических параметров, точностью, производительностью, надежностью, устойчивостью выполнения технологических

операций при любом возможном сочетании производственных факторов. При изменениях в кинематических цепях или электрических схемах, превышающих допустимые пределы, происходит переход системы в неработоспособное состояние. Потеря работоспособности носит стохастический характер и может произойти внезапно, приводя к аварийной ситуации, поэтому контроль всех параметров робототехнических систем, диагностика возможных отказов на протяжении всего срока эксплуатации является важнейшим направлением развития робототехники. Только при этом может быть обеспечена надежная работа робота в условиях неорганизованности внешней среды.

Как мы видим, проблема создания робототехнических систем является комплексной и требует объединения специалистов различного профиля. Мировой опыт создания таких систем ориентируется на комплексную проработку их одной организацией, начиная от проекта, создания и организации производства необходимой элементной базы и заканчивая созданием всего комплекса, ориентированного на конкретного пользователя.

В качестве **заключения** предлагается план научно-исследовательских работ по разработке универсальной роботизированной платформы, предназначенной, в частности, для тепличных комбинатов:

- разработка концепции, основанной на модульном принципе построения роботизированной платформы;
- проведение предварительных расчетов и выбор кинематических схем;
- подбор компонентов из существующих аналогов, экономическое обоснование выбора каждого компонента;
- разработка комплекта технической документации;
- подбор элементной базы системы управления, которая обладает высокой гибкостью настройки и открытой архитектурой;
- разработка программного обеспечения (использование открытых кодов для оперативной настройки и отладки изменений);
- изготовление опытных образцов, проверка работоспособности систем, окончательная их отладка.

Таким образом, в современных условиях ведения сельского хозяйства использование робототехнических систем позволит создать высокоинтеллектуальное и конкурентное аграрное производство.

**Список литературы**

1. Агророботы в фермерском хозяйстве, нужны ли они? [Электрон. ресурс] // Бизнес для России: сайт. – Режим доступа: <http://www.biz-for.ru/robotics/agrorobots/agrorobots.php>.
2. Революция в сельском хозяйстве: пастух-робот от компании «Lely» [Электрон. ресурс] / MainPump: сайт. – Режим доступа: <http://www.mainpump.ru/news/agro/1489.htm>.
3. Новый английский робот собирает грибы [Электрон. ресурс] / MEMBRANA: Люди. Идеи. Технологии: сайт. – 9 марта 2006. – Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/9771>.
4. Федоров, О. RoboTrac, многоцелевой робот для сельского хозяйства [Электрон. ресурс] / О. Федоров // Новостной портал «Mobile Device». – 02.08.2008. – Режим доступа: <http://www.mobiledevice.ru/Valtra-RoboTrac-Hannes-Seeberg-robot-selskohoziastvennii-mnogoc.aspx>.
5. Ализар, А. Роботы для сельского хозяйства [Электрон. ресурс] / А. Ализар // ТМ Feed: сайт. – 17 ноября 2011. – Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/132850/>.
6. Grizzly: Robotic Utility Vehicle [Электрон. ресурс] / Clearpath Robotics Inc.: сайт. – Режим доступа: <http://www.clearpathrobotics.com/grizzly-ruv/>
7. Ананьев, А.Н. Проблемы применения роботов в сельскохозяйственном производстве [Электрон. ресурс] / А.Н. Ананьев // Портал системы сельскохозяйственного консультирования РБ. – Режим доступа: [http://www.cckrb.ru/pages/docs/mc\\_showdoc.aspx?id=16987](http://www.cckrb.ru/pages/docs/mc_showdoc.aspx?id=16987).

**Сведения об авторах:**

**Максимов Павел Леонидович** – доктор технических наук, профессор, декан агроинженерного факультета. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 59-24-23).

**Иванов Алексей Генрихович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: [ivalgen@inbox.ru](mailto:ivalgen@inbox.ru)).

**Мохов Александр Алексеевич** – инженер-технолог. ООО ТРК «Прогресс» (426063, Россия, г. Ижевск, ул. В. Чугуевского, 9, офис 5, e-mail: [uva-0239@inbox.ru](mailto:uva-0239@inbox.ru)).

**Петров Виталий Анатольевич** – инженер-технолог. ООО ТРК «Прогресс» (426063, Россия, г. Ижевск, ул. В. Чугуевского, 9, офис 5, e-mail: [pva.agrolog@mail.ru](mailto:pva.agrolog@mail.ru)).

P.L. Maksimov<sup>1</sup>, A.G. Ivanov<sup>1</sup>, A.A. Mokhov<sup>2</sup>, V.A. Petrov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Izhevsk State Agricultural Academy;*

<sup>2</sup> *LLC TRC «Progress», Izhevsk*

**POSSIBILITIES OF AGRICULTURAL LABOR AUTOMATION**

*Nowadays the technical development of agriculture follows the way of expanding capacities of agricultural machines. The aim of research was the analysis of agricultural problems and robotization as one of their solutions. The analysis of agricultural robotization in foreign countries revealed a number of obvious advantages, namely, removal of human factor; improvement of quality and ecological properties of goods; production costs reduction; power inputs reduction; increasing of productiveness and labour efficiency; increasing of production predictability and controllability. Productiveness increase and labour efficiency in agricultural industry with the use of robotization can be achieved only on the base of automation of routine and algorithmized operations in intellectual and productive human activities under the complete integrated automation of flexible manufacturing systems. One of the main reasons of high attention to robots reliability in agricultural industry is connected with difficulties of technical maintenance and repair, lack of facilities and experts. The gap between Russian and world robot technology is observed not only in terms of reliability but also in materials and energy consumption, productivity, speed, accuracy. This is especially noticeable in the element base of operating devices, gears, software*

**Spisok literatury**

1. Agroroboty v fermerskom hozjajstve, nuzhny li oni? [Jelektron. resurs] // Biznes dlja Rossii: sajt. – Rezhim dostupa: <http://www.biz-for.ru/robotics/agrorobots/agrorobots.php>.
2. Revoljucija v sel'skom hozjajstve: pastuh-robot ot kompanii «Lely» [Jelektron. resurs] / MainPump: sajt. – Rezhim dostupa: <http://www.mainpump.ru/news/agro/1489.htm>.
3. Novyj anglijskij robot sobiraet griby [Jelektron. resurs] / MEMBRANA: Ljudi. Idei. Tehnologii: sajt. – 9 marta 2006. – Rezhim dostupa: <http://www.membrana.ru/particle/9771>.
4. Fedorov, O. RoboTrac, mnogocelevoj robot dlja sel'skogo hozjajstva [Jelektron. resurs] / O. Fedorov // Novostnoj portal «Mobile Device». – 02.08.2008. – Rezhim dostupa: <http://www.mobiledevice.ru/Valtra-RoboTrac-Hannes-Seeberg-robot-selskohoziastvennii-mnogoc.aspx>.
5. Alizar, A. Roboty dlja sel'skogo hozjajstva [Jelektron. resurs] / A. Alizar // ТМ Feed: sajt. – 17 nojabrja 2011. – Rezhim dostupa: <http://geektimes.ru/post/132850/>.
6. Grizzly: Robotic Utility Vehicle [Jelektron. resurs] / Clearpath Robotics Inc.: sajt. – Rezhim dostupa: <http://www.clearpathrobotics.com/grizzly-ruv/>
7. Anan'ev, A.N. Problemy primenenija robotov v sel'skohoziastvennom proizvodstve [Jelektron. resurs] / A.N. Anan'ev // Portal sistemy sel'skohoziastvennogo konsultirovanija RB. – Rezhim dostupa: [http://www.cckrb.ru/pages/docs/mc\\_showdoc.aspx?id=16987](http://www.cckrb.ru/pages/docs/mc_showdoc.aspx?id=16987).

support, training systems. There are no objective methods of economic efficiency evaluation. There are drawbacks in scientific research organization and conduction. The only solution is to transfer the scientific researches on commercial principle provided that the government finances fundamental works.

**Key words:** robot technology; agricultural labor automation; advantages and disadvantages of robotization; working operations; controlling devices; software.

**Authors:**

**Maksimov Pavel Leonidovich** – Doctor of Engineering Sciences, Dean of Agricultural Engineering Faculty. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 59-24-23).

**Ivanov Aleksey Genrikhovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: ivalgen@inbox.ru).

**Mokhov Aleksandr Alekseyevich** – engineer, LLC TRC «Progress» (office 5, 9, V. Chuguyevsky street, Izhevsk, Russian Federation, 426063, e-mail: uva-0239@inbox.ru).

**Petrov Vitaly Anatolyevich** – engineer, LLC TRC «Progress» (office 5, 9, V. Chuguyevsky street, Izhevsk, Russian Federation, 426063, e-mail: pva.agrolog@mail.ru).

УДК 631.3.02.-026.29

В.Ф. Первушин<sup>1</sup>, А.Г. Левшин<sup>2</sup>, М.З. Салимзянов<sup>1</sup>, Н.Г. Касимов<sup>1</sup>, Е.В. Шамаев<sup>1</sup>, И.Ю. Лебедев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

## КЛАССИФИКАЦИЯ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

*Проведен анализ существующих ротационных рабочих органов и машин, которые нашли широкое применение в области сельскохозяйственного производства, и выполнена классификация рабочих органов по двум ярко выраженным признакам: по передаваемой энергии к рабочему органу и по расположению оси вращения в пространстве. По передаваемой к ним энергии рабочие органы могут быть ротационно-реактивными и ротационно-активными. Когда энергия от трактора к ротационному рабочему органу передается через тяговое усилие трактора, при этом рабочий орган получает вращение от пассивного взаимодействия с почвой, то есть от воздействия внешних реактивных сил, то такие рабочие органы следует отнести к ротационно-реактивным. Если энергия передается от трактора к рабочему органу механическим, гидравлическим или электрическим путем, то вращение рабочего органа становится активным, и такие рабочие органы следует отнести к ротационно-активным. По расположению оси вращения ротационные рабочие органы следует подразделить на три группы и семь подгрупп: А, Б, В, Г, Д, Е и Ж. Приведенная классификация охватывает всю совокупность существующих разновидностей рабочих органов и возможное расположение их оси вращения в пространстве, что облегчает в дальнейшем систематизацию теоретических исследований.*

**Ключевые слова:** классификация; ротор; энергия; ось вращения; машины; рабочий орган.

**Актуальность.** Ротационные рабочие органы нашли широкое применение в различных сельскохозяйственных машинах. Многообразие ротационных машин и орудий усложняет работу научных и инженерно-технических работников, поэтому в настоящее время возникает необходимость в систематизации всей существующей совокупности ротационных машин.

**Цель исследования:** систематизация всей существующей совокупности ротационных машин и рабочих органов.

**Задачи исследования:**

- изучить существующие ротационные рабочие органы и машины, которые нашли применение в области механизации сельского хозяйства;
- выполнить классификацию ротационных машин по наиболее ярко выраженным признакам.

**Результаты и их обсуждение.** Вращение ротационных рабочих органов является основным отличительным признаком всех существующих почвообрабатывающих машин.

Энергия от двигателя к рабочему органу может поступать через тяговое устройство трактора, при этом рабочий орган получает вращение в результате пассивного взаимодействия с почвой. Когда энергия передается от двигателя к рабочему органу механическим, гидравлическим или электрическим путем, то вращение рабочего органа становится активным. Энергия может поступать к рабочему органу также по двум или нескольким каналам одновременно.

Следующим важным признаком, характеризующим ротационные почвообрабатывающие машины и рабочие органы, является расположение оси вращения рабочего органа в пространстве. Таким образом, классификацию ротационных машин и рабочих органов можно выполнить по двум основным, ярко выраженным признакам:

- по передаваемой энергии к рабочему органу,
- по расположению оси вращения в пространстве.

Когда энергия от трактора к ротационному рабочему органу передается через тяговое усилие трактора, при этом рабочий орган получает вращение от пассивного взаимодействия с почвой, то есть от воздействия внешних реактивных сил, такие рабочие органы следует отнести к ротационно-реактивным.

Если энергия передается от трактора к рабочему органу механическим, гидравлическим или электрическим путем, то вращение рабочего органа становится активным, и такие рабочие органы следует отнести к ротационно-активным.

Следующим важным признаком, характеризующим ротационные рабочие органы и машины, является расположение оси вращения рабочего органа в пространстве, которое является наиболее удобным как для их классификации, так и для теоретических исследований.

По расположению оси вращения ротационные рабочие органы следует разделить на три группы и семь подгрупп: А, Б, В, Г, Д, Е и Ж [3] (рис. 1):

1. К первой группе следует отнести рабочие органы с осью вращения, совпадающей с направлением осей координат X, Y и Z, – подгруппы А, Б и В.

Если рабочий орган с поперечно-горизонтальной осью вращения (по отношению к направлению движения агрегата), то есть совпадающей с направлением оси координат Y, его следует отнести к подгруппе А. Примером может служить рабочий орган ботводробителя [4] (рис. 2).

Если рабочий орган с вертикальной осью вращения (по отношению к направлению движения агрегата), то есть совпадающей с направлением оси координат Z, то его следует отнести к подгруппе Б. Например, рабочий орган ботводробителя с вертикальной осью вращения [4] (рис. 3).

Если рабочий орган с горизонтальной осью вращения, совпадающей с направлением движения агрегата, то есть совпадающей с координатной осью X, его следует отнести к подгруппе В [7] (рис. 4).

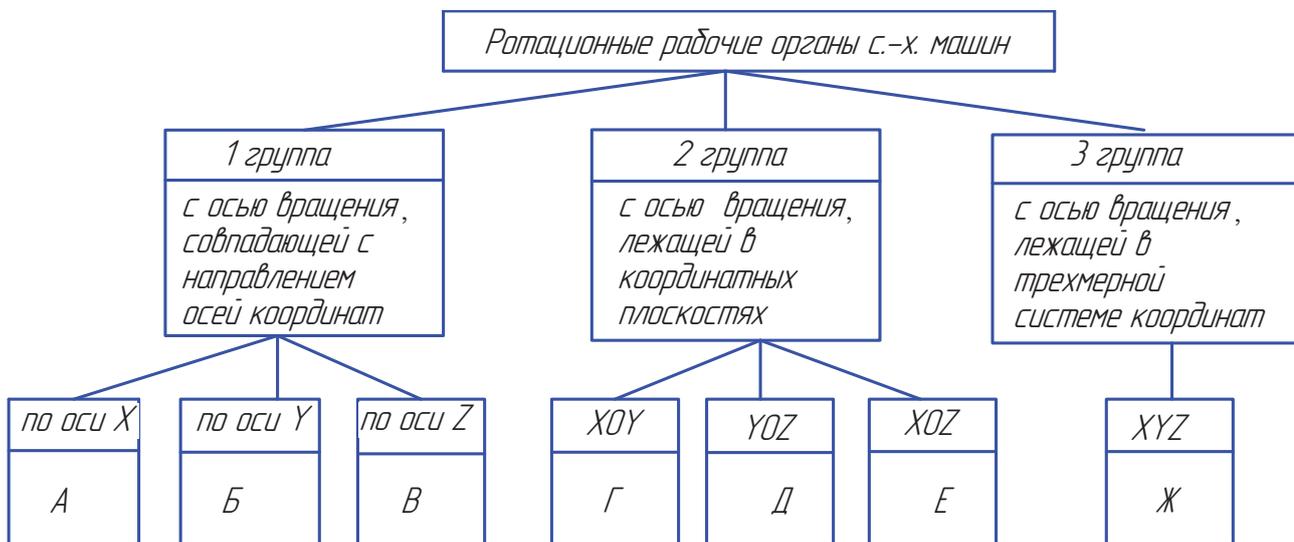


Рисунок 1 – Блок-схема классификации ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин

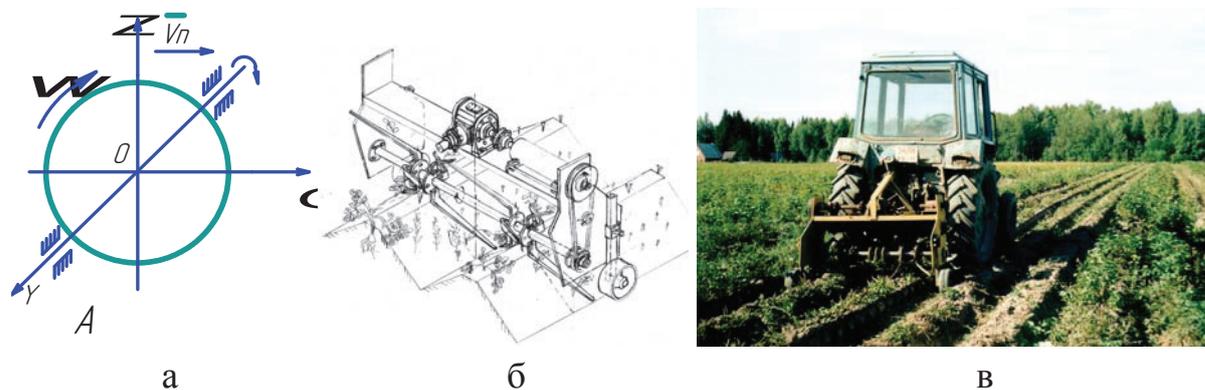


Рисунок 2 – Рабочий орган ботводробителя с горизонтально-поперечной осью вращения по отношению к направлению движения (агрегат подгруппы А): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид агрегата в работе

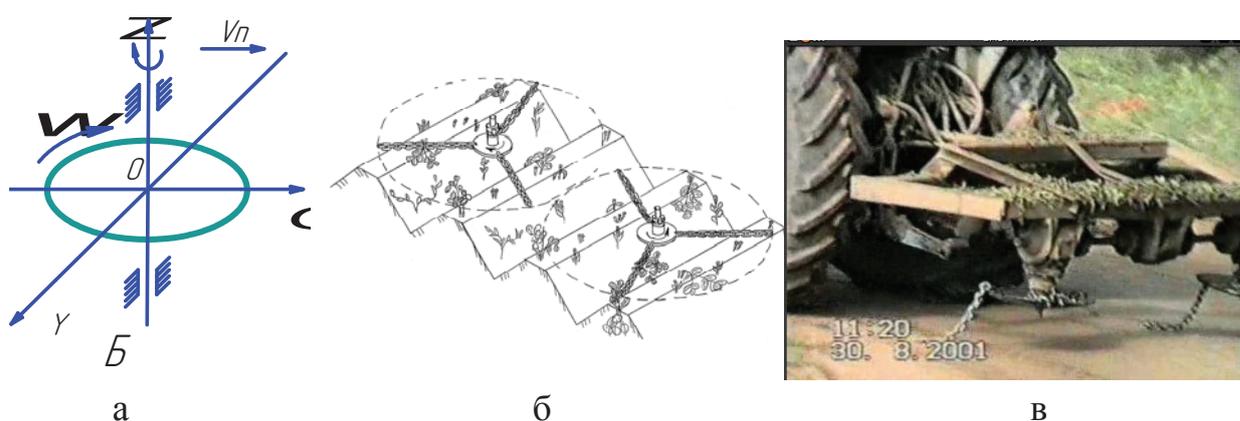


Рисунок 3 – Рабочий орган ботводробителя с вертикальной осью вращения (агрегат подгруппы Б): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид цепного ботводробителя (РЛЗ-4)

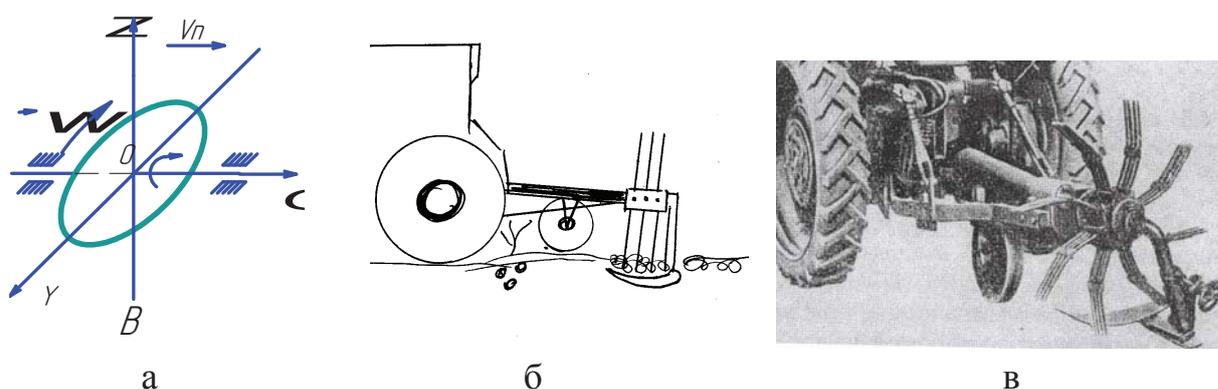


Рисунок 4 – Рабочий орган картофелекопателя КТН – 1Б с горизонтальной осью вращения, совпадающей с направлением движения (агрегат подгруппы В): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид картофелекопателя

2. Ко второй группе следует отнести рабочие органы с осями вращения, лежащими в координатных плоскостях трехмерной системы координат, например:

- рабочие органы, лежащие в горизонтальной плоскости  $XOY$ , следует отнести к подгруппе Г;
- впоперечно-вертикальной плоскости  $YOZ$  – к подгруппе Д;

- в продольно-вертикальной плоскости  $XOZ$  – к подгруппе Е.

Например, рабочие органы дисковых лущильников типа ЛДГ и дисковых борон типа БДГ лежат в горизонтальной плоскости  $XOY$  и повернуты под углом «атаки»  $\alpha$  относительно оси координат  $X$ , следовательно, их рабочие органы относятся к подгруппе Г [1] (рис. 5).

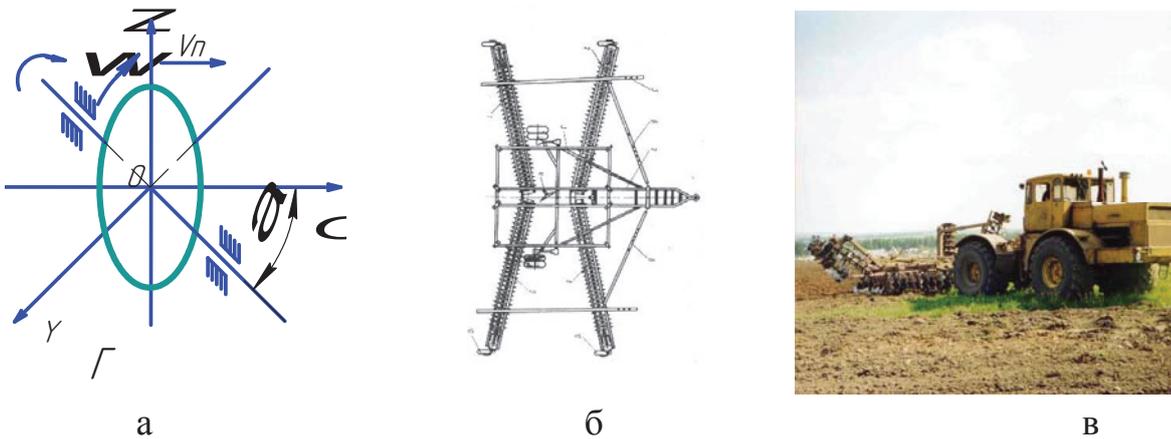


Рисунок 5 – Рабочие органы лущильника ЛДГ-10 и дисковой бороны БДТ – 7 с осью вращения, расположенной под некоторым углом  $\alpha$  к направлению движения (агрегат подгруппы Г): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид агрегата в работе

Если рабочий орган с осью вращения, расположенной под углом  $\beta$  к оси координат  $Y$  в поперечно-вертикальной плоскости  $YOZ$ , относительно направления движения агрегата, то его следует отнести к подгруппе Д [3]. Например, рабочий орган культиватора для ухода за растениями (рис. 6).

Если рабочий орган с осью вращения, расположенной в продольно-вертикальной пло-

скости  $XOZ$  относительно направления движения агрегата под углом  $\gamma$  к оси координат  $Z$ , то его следует отнести к подгруппе Е. Например, рабочий орган картофелекопателя [7] (рис. 7).

К третьей группе следует отнести рабочие органы с осью вращения, лежащей произвольно в трехмерной системе координат  $XYZ$ , агрегата подгруппы Ж.

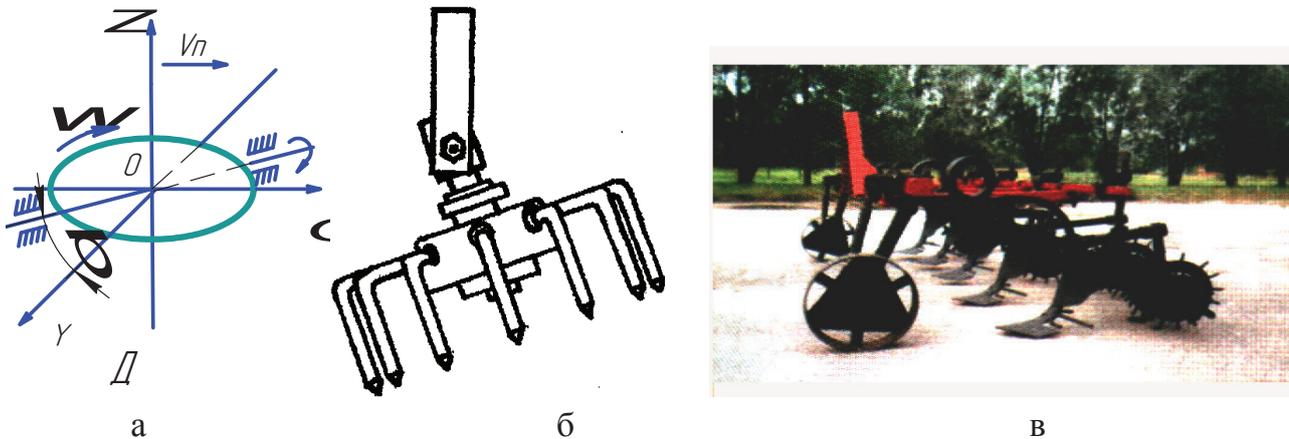


Рисунок 6 – Ротационная борона культиватора для ухода за растениями с осью вращения, расположенной под углом наклона  $\beta$  относительно оси координат  $Y$  в поперечно-вертикальной плоскости  $YOZ$  (агрегат подгруппы Д): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид культиватора

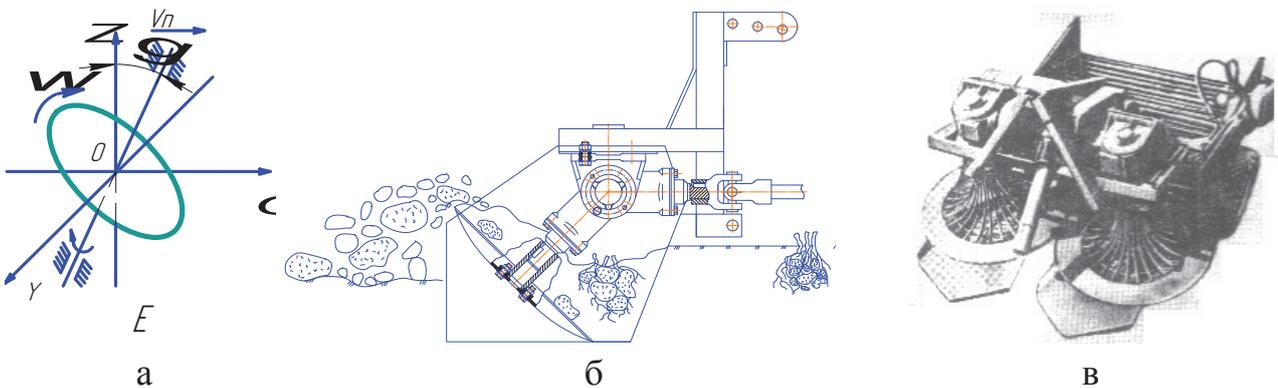


Рисунок 7 – Ротор картофелекопателя КТН – 1Б (агрегат подгруппы Е): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид картофелекопателя

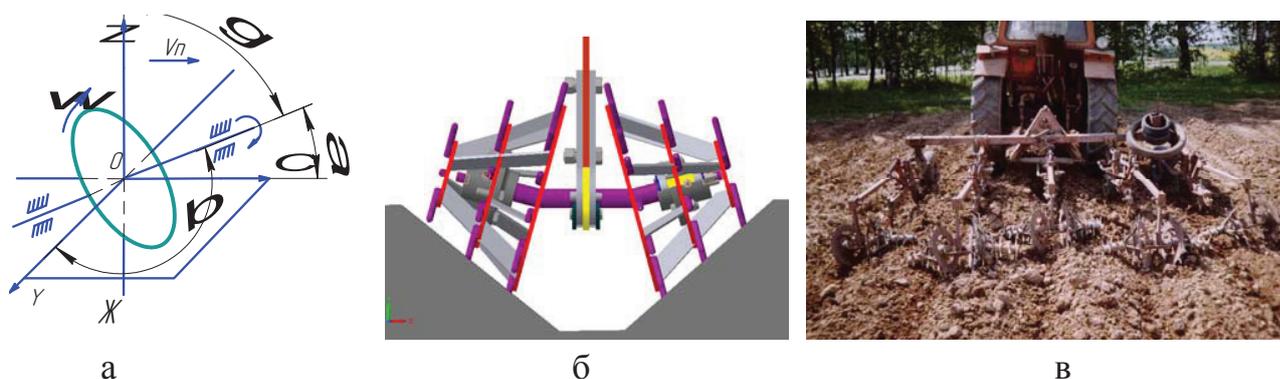


Рисунок 8 – Ротационный рыхлитель с осью вращения, расположенной в пространстве под углами наклона  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  относительно осей координат (агрегат подгруппы Ж): а – схема кинематическая; б – схема технологическая; в – общий вид агрегата в работе

Например, рабочий орган культиватора для ухода за растениями картофеля типа ротационного рыхлителя БРУ – 0,7 или рабочий орган дискового плуга, ось вращения которых не только повернута относительно направления движения агрегата, но и наклонена относительно вертикали, следовательно, их рабочие органы относятся к подгруппе Ж и т.д. [6] (рис. 8).

Приведенная классификация охватывает всю совокупность существующих разновидностей рабочих органов и возможное расположение их оси вращения в пространстве, что облегчает в дальнейшем систематизацию теоретических исследований.

### Список литературы

1. Матяшин, Ю.И. Ротационные почвообрабатывающие машины (теория, конструкция, расчет) / Ю.И. Матяшин, Н.Ю. Матяшин. – Казань: Казанский аграрный университет, 2008. – 203 с.
2. Абдрахманов, Р.К. Машины и орудия для междурядной обработки почвы (конструкция, теория, расчет, эксплуатация) / Р.К. Абдрахманов. – Казань: Казанский университет, 2001. – 148 с.
3. Канарев, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.
4. Первушин, В.Ф. Моделирование измельчителя ботвы картофеля / В.Ф. Первушин, А.Г. Иванов, М.З. Салимзянов // Механизация и электрификация с.-х. – 2010. – № 6. – С. 2-3.
5. Первушин, В.Ф. Теоретические предпосылки к обоснованию конструкции ротационной бороны для ухода за посадками картофеля / В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 1. – С. 4–6.
6. Пат. № 2388199 С2 Российская Федерация, МПК А01В21/00 Ротационный рыхлитель / Первушин

шин В.Ф.; Салимзянов М.З; Фатыхов И.Ш.; Абдуллин Ф.М. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Ижевская гос. с.-х. академия. № 2008114768/12; заявл. 15.04.08 ; опубл. 10.05.10, Бюл. № 13. – 8 с.

7. Колчинский, Ю.Л. Механизация производства картофеля / Ю.Л. Колчинский, В.Ф.Первушин, Ю.Г. Корепанов. – Ижевск, 2004. – 200 с.

### Spisok literatury

1. Matjashin, Ju.I. Rotacionnye pochvoobrabatyvajushhie mashiny (teorija, konstrukcija, raschet) / Ju.I. Matjashin, N.Ju. Matjashin. – Kazan': Kazanskij agrarnyj universitet, 2008. – 203 s.
2. Abdrahmanov, R.K. Mashiny i orudija dlja mezhdurjadnoj obrabotki pochvy (konstrukcija, teorija, raschet, jekspluatacija) / R.K. Abdrahmanov. – Kazan': Kazanskij universitet, 2001. – 148 s.
3. Kanarev, F.M. Rotacionnye pochvoobrabatyvajushhie mashiny i orudija / F.M. Kanarev. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 142 s.
4. Pervushin, V.F. Modelirovanie izmel'chitelja botvy kartofelja / V.F. Pervushin, A.G. Ivanov, M.Z. Salimzjanov // Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h. – 2010. – № 6. – S. 2-3.
5. Pervushin, V.F. Teoreticheskie predposylki k obosnovaniju konstrukcii rotacionnoj borony dlja uhoda za posadkami kartofelja / V.F. Pervushin, M.Z. Salimzjanov, N.G. Kasimov // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2006. – № 1. – S. 4–6.
6. Pat. № 2388199 S2 Rossijskaja Federacija, MPK A01V21/00 Rotacionnyj ryhlitel' / Pervushin V.F.; Salimzjanov M.Z; Fatyhov I.Sh.; Abdullin F.M. zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Izhevskaja gos. s.-h. akademija. № 2008114768/12; zajavl. 15.04.08 ; opubl. 10.05.10, Bjul. № 13. – 8 s.
7. Kolchinskij, Ju.L. Mehanizacija proizvodstva kartofelja / Ju.L. Kolchinskij, V.F.Pervushin, Ju.G. Korepanov. – Izhevsk, 2004. – 200 s.

### Сведения об авторах:

**Первушин Владимир Федорович** – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: Pervushin54@mail.ru).

**Левшин Александр Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машино-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина. Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499)-977-24-10).

**Салимзянов Марат Зуфарович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Касимов Николай Гайсович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Шамаев Егор Веняминович** – аспирант. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Лебедев Иван Юрьевич** – аспирант. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

V.F. Pervushin<sup>1</sup>, A.G. Levshin<sup>2</sup>, M.Z. Salimzyanov<sup>1</sup>, N.G. Kasimov<sup>1</sup>, E.V. Shamayev<sup>1</sup>, I.Y. Lebedev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Agricultural Academy;

<sup>2</sup> RSAU – MAA named after K.A. Timiryazev

## CLASSIFICATION OF ROTARY WORKING ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINES

*The article analyzes the modern and most popular rotary working elements and machines, and classifies the working elements according to two main principles: the energy transferred to the working element and the spacing of a rotative axis. The working elements can be rotary reactive and rotary active depending on the energy transferred to them. When the energy is transferred from the motor to the rotor through the cardan shaft, hydraulic or electric actuator, the rotor spinning becomes active and the working element is called rotary active. When the energy is transferred from the tractor to the rotary working element through tractor draft force and the working element gets spin from passive interaction with ground, i.e. influenced by external reactive force, these working elements are called rotary reactive. Working elements are divided into three groups and seven subgroups A, B, C, D, E, F, G based on a position of a rotative axis. This classification describes all varieties of working elements and possible spacing of their rotative axis. It facilitates the further arrangement of theoretical researches.*

**Key words:** classification; rotor; energy; rotative axis; machines; tools.

### Authors:

**Pervushin Vladimir Fedorovich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: Pervushin54@mail.ru).

**Levshin Aleksandr Grigoryevich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation and High Tech in Crop Science, Institute of Mechanics and Energy named after V.P. Goryachkin. Russian State Agrarian University – MAA named after K.A. Timiryazev (58, Timiryazevskaya street, Moscow, Russian Federation, 127550, tel. (499)-977-24-10).

**Salimzyanov Marat Zufarovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Kasimov Nikolay Gaisovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Shamayev Yegor Venyaminovich** – postgraduate. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Lebedev Ivan Yuryevich** – postgraduate. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

УДК 631.356.44.02:678.067.5

В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов, Е.В. Шамаев, И.Ю. Лебедев  
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

## ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ПРУТКОВ НА ЭЛЕВАТОРАХ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

*В фермерских и индивидуальных хозяйствах населения в технологии возделывания картофеля в большинстве случаев преобладает ручная уборка клубней, поэтому для этой категории хозяйствования требуются малогабаритные машины, отвечающие их особым условиям возделывания сельхозкультур. Целью исследования стало повышение эксплуатационной надежности и производительности картофелекопателя и снижение себестоимости картофеля. В настоящее время при уборке картофеля наиболее часто применяется картофелекопатель типа КТН-2В. К недостаткам картофелекопателей*

этого типа следует отнести высокую массу прутковых полотен, повышающую силу тяжести всей конструкции, что усложняет управление агрегатом. Предлагается модернизировать картофелекопатель КТН-2В путем замены втулочно-роликового полотна элеватора на ременный, а стальных прутков – на прутки из стеклопластикового волокна. Это позволит увеличить ресурс элеватора в 3 раза, уменьшить общий вес картофелекопателя на 90 кг, улучшить управляемость трактором во время уборочных работ и при маневрировании. В результате пробных полевых испытаний в 2014 г. установлена работоспособность модернизированного картофелекопателя на базе КТН-2В в целом и сепарирующего основного и каскадного элеваторов, выполненных из стеклопластиковых арматурных прутков, в частности, что позволило снизить расход топлива до 7% при уборке урожая. Стеклопластиковые прутки показали высокую износостойкость, надежность и позволили снизить повреждения клубней до 3%. Выявлены недостатки: сгуживание пласта, низкая надежность навески картофелекопателя; низкая надежность соединительных звеньев прутков.

**Ключевые слова:** картофелекопатель КТН-2В; модернизация; элеватор на плоских ремнях; стеклопластиковые арматурные прутки; экономия топлива.

**Актуальность.** За годы реформ сельское хозяйство республики стало многоукладным: появились крестьянские (фермерские) хозяйства, акционерные общества, общества с ограниченной ответственностью (ООО), кооперативы; увеличилась доля производства сельскохозяйственной продукции в индивидуальных хозяйствах населения.

По статистическим данным за 2014 г., основная доля производства картофеля приходится на личные подсобные хозяйства населения и составляет 40,4%, и только 15,3% и 14,3% соответственно на фермерские и коллективные формы хозяйствования [2].

В фермерских и индивидуальных хозяйствах населения в технологии возделывания картофеля в большинстве случаев преобладает ручная уборка клубней, поэтому для этой категории хозяйствования в настоящее время, а также на перспективу требуются малогабаритные машины, отвечающие их особым условиям возделывания картофеля [4].

**Цель исследования:** повышение эксплуатационной надежности и производительности картофелекопателя КТН-2В и снижение себестоимости картофеля.

**Задачи исследования:**

- выявить технические решения по модернизации картофелекопателя КТН-2В;
- провести сравнительную оценку элеваторов разных конструкций картофелекопателя КТН-2В;
- модернизировать картофелекопатель КТН-2В;
- выявить преимущества и недостатки элементов модернизации картофелекопателя КТН-2В.

**Материал и методы.** Известно, что наиболее трудоемким процессом в производстве картофеля считается уборка. В настоящее время этой функции наиболее полно соответствует картофелекопатель типа КТН-2В. В качестве сепарирующих рабочих органов на картофе-

копатель устанавливаются прутковые элеваторы, они имеют широкий диапазон применения по физико-механическим свойствам почвы и на данном этапе наиболее широко используются на всех картофелеуборочных машинах [5].

Однако элеваторы, устанавливаемые на картофелеуборочной технике такого типа, имеют ряд существенных недостатков: большой вес; интенсивный износ звеньев элеватора, работающих в абразивной среде; малый эксплуатационный ресурс; отсутствие возможности восстановления элеватора; высокая себестоимость; высокая масса прутковых полотен, повышающая силу тяжести всей конструкции копателя, что усложняет управление агрегатом как во время рабочего хода, так и в транспортном положении. Во время движения агрегата на неровностях под действием силы тяжести копателя передняя ось опорных колес трактора приподнимается, копатель опускается на поверхность дороги, при этом лемеха копателя скребут асфальтовую или гравийную поверхность дороги и затупляются вплоть до непригодного состояния.

Для устранения вышеперечисленных недостатков предлагается модернизировать известный картофелекопатель КТН-2В путем замены втулочно-роликового полотна элеватора на ременный, а стальных прутков – на прутки из стеклопластикового волокна.

На рис. 1 схематически представлен копатель в аксонометрии, на рис. 2 – полотно основного элеватора и полотно каскадного элеватора.

Работает копатель следующим образом. Подкапываемый лемехами клубненоносный пласт под действием подпора проталкивается вдоль лемехов и подвергается крошению на полотнах основного элеватора за счет разности скоростей трактора и полотна элеватора, просеивается, а клубни, оставаясь на полотнах основного и каскадного элеваторов, транспортируются и сбрасываются на поверхность поля за картофелекопателем.

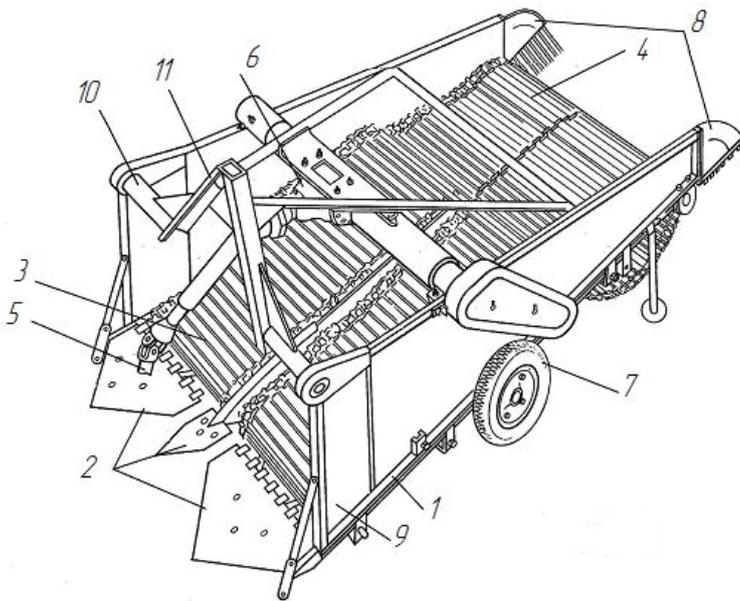


Рисунок 1 – Картофелекопатель КТН-2В [1]: 1 – рама, 2 – три лемеха, 3 – основной элеватор, 4 – каскадный элеватор, 5 – карданная передача, 6 – редуктор, 7 – опорные колеса, 8 – отражатели, 9 – боковины рамы, 10 – поперечный брус, 11 – прицепное устройство А-образной формы

Основной элеватор состоит из двух полотен (рис. 2а), разделенных между собой средней стенкой (на рис. не показано). Полотно основного элеватора состоит из стеклопластиковых арматурных прутков 1 (марки АСП-12), соединенных между собой стальными штампованными

звеньями 2, между которыми установлены ролики 3 и зафиксированы на стеклопластиковых арматурных прутках шайбами 4 и заклепками 5 [3]. Каскадный элеватор смонтирован за основным элеватором и состоит из полотна (рис. 2б), изготовленного, так же как и основной элеватор, из стеклопластиковых арматурных прутков 1, соединенных между собой стальными штампованными звеньями 2, и роликов 3, зафиксированных на арматурных прутках шайбами 4 и заклепками 5. Прутки основного и каскадного элеваторов соединены между собой с шагом 41,3 мм, а диаметр стеклопластиковых арматурных прутков составляет 12 мм.

Свойства стеклопластиковой арматуры, по данным производителя «Про-Арматура» (г. Москва), таковы, что она совершенно не подвергается коррозии, не имеет остаточной деформации, модуль упругости в 3-4 раза меньше (располагается в пределах от 35 до 51 ГПа), а прочность на разрыв в 2-3 раза выше (составляет 1000 МПа), чем у стального прутка (см. таблицу) [6].

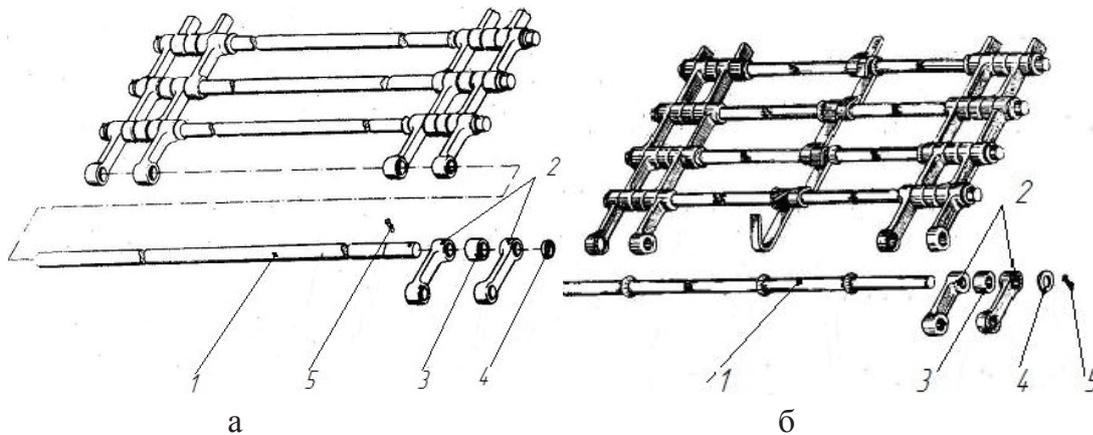


Рисунок 2 – Элеватор: а – основной; б – каскадный

**Сравнительная характеристика элеваторов картофелекопателя КТН-2В**

Параметр	Серийный элеватор (на втулочно-роликовых цепях)	Модернизированный элеватор (на плоских ремнях)
Материал	Сталь	Стеклопластик (АСП-12)
Прочность на растяжение, МПа	483-690	1000
Модуль упругости, ГПа	200	35-51
Ресурс элеватора, га	50	> 150
Масса прутка в сборе, кг (пруток основного элеватора «узкого», ширина 660 мм)	0,61	0,22
Масса основного элеватора, кг (70 прутков)	42,7	15,4
Стоимость основного элеватора, руб. (70 прутков)	16800	6037,5
Масса каскадного элеватора, кг (50 прутков)	61	22
Стоимость каскадного элеватора, руб. (50 прутков)	22700	8625
Общий вес элеватора, кг	146,4	52,8
Масса картофелекопателя, кг	756	666

Эти показатели положительно сказываются на снижении потерь, на работе элеватора и его сепарирующих свойствах, так как меньший модуль упругости дает возможность прутку элеватора изгибаться и совершать колебания, улучшающие сепарацию и демпфирование (амортизацию) при ударе клубней об прутки, в свою очередь большая прочность на разрыв не дает прутку сломаться.

Установка таких прутков позволит увеличить ресурс элеватора в 3 раза, уменьшить общий вес картофелекопателя КТН-2В на 90 кг. Такие изменения существенно облегчат управляемость трактором во время уборочных работ, при маневрировании, а также сократят расходы на топливо.

При износе прутка его замена и изготовление не составят особого труда, при этом экономятся средства на покупку материала из стеклопластика в сравнении с металлическим прутком и время на доставку и изготовление.

С 2012 г. кафедрой эксплуатации и ремонта машин ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА ведется поиск по усовершенствованию картофелекопателя КТН-2В, в результате чего модернизирован КТН-2В с элеватором из стеклопластиковой арматуры (рис. 3).

**В результате** пробных полевых испытаний в 2014 г. установлена работоспособность модернизированного картофелекопателя на базе КТН-2В в целом и сепарирующего основного элеватора и каскадного элеватора, выполненных из стеклопластиковых арматурных прутков, в частности, что позволило снизить расход топлива до 7% при уборке урожая.



Рисунок 3 – Фото модернизации картофелекопателя КТН-2В

**Вывод.** Применение стеклопластиковых арматурных прутков показало высокую износостойкость, надежность прутков и позволяет снизить повреждения клубней до 3%.

В ходе полевых исследований также выявлены недостатки: сгуживание пласта, низкая надежность навески картофелекопателя; низкая надежность соединительных звеньев прутков.

### Список литературы

1. Картофелекопатель навесной двухрядный КТН-2В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Паспорт и каталог деталей. – Лида, 1988.
2. Статический сборник (по каталогу № 086) «Сельское хозяйство Удмуртской Республики». – Ижевск, 2014. – 115 с.
3. Пат. 135224 U1 Российская Федерация, МПК А01D13/00 Картофелекопатель / Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Зверев Н.П., Салимзянов М.З., Фатыхов И.Ш., Корепанов Ю.Г., Касимов Н.Г., Арсланов Ф.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская гос. с.-х. академия. // № 2013113202/13; заявл. 25.03.13; опубл. 10.12.13, Бюл. № 34. – 3 с.
4. Техничко-экономическая оценка технологий возделывания картофеля в фермерских и личных подсобных хозяйствах / В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – Ижевск, 2012. – № 1. – С. 44–47.
5. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
6. Примерные таблицы замены строительных арматур-композитной (базальтопластиковой и стеклопластиковой) и обычной стальной строительной по прочности, длине, весу [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMaterials/BuildingMaterials/SteelReinforcement/BuildingArma mentSteelCompComparisson>.

### Spisok literatury

1. Kartofelekopatel' navesnoj dvuhriadnyj KTN-2V. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii. Passport i katalog detalej. – Lida, 1988.
2. Statcheskij sbornik (po katalogu № 086) «Sel'skoe hozjajstvo Udmurtskoj Respubliki». – Izhevsk, 2014. – 115 s.
3. Pat. 135224 U1 Rossijskaja Federacija, MPK A01D13/00 Kartofelekopatel' / Pervushin V.F., Levshin A.G., Zverev N.P., Salimzjanov M.Z., Fatyhov I.Sh., Korpanov Ju.G., Kasimov N.G., Arslanov F.R.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Izhevskaja gos. s.-h. akademija. // № 2013113202/13; zajavl. 25.03.13; opubl. 10.12.13, Bjul. № 34. – 3 s.
4. Tehniko-jekonomicheskaja ocenka tehnologij vzdelyvanija kartofelja v fermerskih i lichnyh podsobnyh hozjajstvah / V.F. Pervushin, M.Z. Salimzjanov, N.G. Kasimov [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – Izhevsk, 2012. – № 1. – S. 44–47.

5. Petrov, G.D. Kartofeleuborochnye mashiny / G.D. Petrov. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 320 s. i obychnoj stal'noj stroitel'noj po prochnosti, dline, vesu [Jelektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMatherials/BuildingMaterials/SteelReinforcement/BuildingArmamentSteelCompComparisson>.
6. Primernye tablicy zameny stroitel'nyh armatur – kompozitnoj (bazal'toplastikovoj i stekloplastikovoj)

**Сведения об авторах:**

**Первушин Владимир Федорович** – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: Pervushin54@mail.ru).

**Салимзянов Марат Зуфарович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Касимов Николай Гайсович** – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Шамаев Егор Веньяминович** – аспирант. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Лебедев Иван Юрьевич** – аспирант. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

V.F. Pervushin, M.Z. Salimzyanov, N.G. Kasimov, E.V. Shamayev, I.Y. Lebedev  
Izhevsk State Agricultural Academy

**THE USAGE OF FIBER-GLASS BARS IN THE ELEVATORS OF POTATO HARVESTERS**

*Generally potato hand harvesting prevails in individual and farm households. That is why small-size machines suiting special conditions of crop cultivating are necessary for this kind of household management. The aim of research was the increase of the functional reliability and efficiency of a potato-digger as well as costs reduction of potatoes. Nowadays the potato-digger KTN-2B is the most commonly used. The drawback of this type is the great bar mass which increases the gravity of the whole construction complicating the machine control. It is suggested to modernize the KTN-2B potato-digger replacing the bush-roller elevator apron with the belt one and the steel bars with bars made of fiber-glass. It will make it possible to increase the operating life of the elevator three times, reduce the overall weight of a potato-digger by 90 kg, and improve controllability of a tractor during harvest-work and maneuvering. During field tests in 2014 the whole updated potato-digger as well as its cleaning and cascaded elevators made of fiberglass bars showed high level of efficiency. It allowed reducing the fuel consumption by 7% during harvesting. Fiber-glass bars were proved to be hardwearing, reliable and their usage contributed to the potato tubers damage reduction to 3%. The drawbacks are: pileup of furrow slice, low reliability of potato-digger mounting, low reliability of connecting links of the bars.*

**Key words:** KTN-2B potato-digger; modernization; flat belt elevator; fiber-glass bars; fuel saving.

**Authors:**

**Pervushin Vladimir Fedorovich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: Pervushin54@mail.ru).

**Salimzyanov Marat Zufarovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Kasimov Nikolay Gaisovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Shamayev Yegor Venyaminovich** – postgraduate. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Lebedev Ivan Yuryevich** – postgraduate. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

УДК 528.77

А.А. Сметанин<sup>1</sup>, Е.Ф. Стукалина<sup>2</sup>, А.М. Сметанин<sup>2</sup><sup>1</sup>ОАО МТУ «Кристалл», г. Ижевск;<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

## ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ В ИНТЕРЕСАХ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Статья посвящена исследованиям дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) применительно к территории Удмуртии. Обосновывается актуальность исследования, поскольку современные технологии ДЗЗ позволяют оперативно и эффективно контролировать различные аспекты хозяйственной деятельности. Рассматривается история вопроса. В связи с принятием «Концепции развития российской системы ДЗЗ на период до 2025 года» анализируется использование материалов космической съемки в интересах Удмуртии. Сформулированы цель и задачи исследования с использованием соответствующих информационных технологий (ИТ), в том числе и сельскохозяйственного назначения. Рассмотрена возможность адаптации ранее полученных результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в области ДЗЗ для территории Удмуртии. Описано ИТ-проектирование цифровой модели местности (ЦММ) по результатам дешифрирования материалов космической съемки. Представлены растровые фрагменты объектов местности территории Кизнерского района Удмуртии (космический фотоснимок, топооснова, ландшафтная карта), приведено содержание ландшафтов запада Удмуртии. Приведены фрагменты системы признаков ЦММ для построения логических решателей. Представлены индикационные логические решатели, построенные программной подсистемой, реализующей известный алгоритм. Отмечается, что часто решатели такого рода реализуются в рамках экспертных систем. В данной работе используется переборная процедура на эмпирических таблицах разнотипных данных. В результате построенные логические решатели обладают существенной объективностью. Результаты проведенных исследований показали, что надежность ИТ-дешифрирования объектов местности по материалам ДЗЗ в 1,5-2 раза превосходит надежность визуального дешифрирования, что является хорошей предпосылкой для проведения дальнейших НИОКР на территории Удмуртии. Сформулированы научные задачи, которые необходимо решить в интересах Удмуртии: 1) спланировать получение материалов ДЗЗ на территории Удмуртии, представляющие интерес; 2) организовать научные коллективы для проведения НИОКР и поставить перед ними конкретные задачи решения проблем сельского и лесного хозяйства, такие как характеристики лесов, характеристики растительности, тип болота, характеристики четвертичных отложений, характеристики объектов гидрогеологии; 3) обобщить результаты проведенных НИОКР и разработать научные рекомендации для сельского и лесного хозяйства; 4) разработать математические модели исследования ДЗЗ для их дальнейшего использования не только в интересах Удмуртии, но и всей России.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли; космическая съемка; цифровая модель местности; информационная технология.

**Актуальность.** Сельское хозяйство для любой страны, а тем более России, является важнейшей отраслью народного хозяйства. Его постоянное развитие существенно влияет на стратегическую устойчивость государства. Как отмечается в [10]: «Технологии космического мониторинга позволяют эффективно отслеживать различные аспекты сельскохозяйственной деятельности. Съемки из космоса обеспечивают проведение инвентаризации сельскохозяйственных земель, выполнение оперативного контроля состояния посевов на различных стадиях, позволяют выявлять процесс деградации земельных ресурсов, определять потенциальные угрозы для посевов».

До 1990-х годов космическая съемка высоко разрешения обеспечивалась искусственными спутниками Земли (ИСЗ) серии «Космос»

с космическими фотоаппаратами КФА-1000 и КФА-3000 при разрешении на местности 3 м и лучше. Затем, в связи с развалом экономики страны, пуски гражданских ИСЗ практически прекратились. В настоящее время принята «Концепция развития российской системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года» с главной целью создания российской орбитальной группировки космических средств дистанционного зондирования Земли (ОГ КС ДЗЗ) [8]. В июне 2006 г. был запущен гражданский космический аппарат (КА) высокодетального наблюдения «Ресурс-ДК». В июле 2011 г. введен в опытную эксплуатацию КА геостационарного базирования «Электро-Л», обеспечивающий глобальную съемку Земли в видимом и инфракрасном диапазонах [8].

В интересах Удмуртии целесообразно использовать следующие материалы космической съемки [8]:

1) панхроматическая информация высокого и сверхвысокого разрешения (до 3 м на местности) **Chr**;

2) многозональная информация высокого разрешения (3–50 м на местности) **Сm**;

3) радиолокационная информация высокого разрешения (1–100 м на местности) **С1**.

**Цель исследования:** выбор и реализация современных эффективных математических моделей обработки ДЗЗ и соответствующих информационных технологий (ИТ), под которыми понимается совокупность эффективных и экономичных методов получения, хранения, обработки, транспортировки и использования информации с целью достижения конкретного результата в интересах некоторого объекта или системы, в том числе и сельскохозяйственного назначения.

**Задачи исследования:**

1) уточнить постановку задачи создания цифровой модели местности (ЦММ) по результатам дешифрирования материалов космической съемки с учетом изменений технико-экономических условий в последние годы;

2) проанализировать методы дешифрирования (распознавания) материалов ДЗЗ;

3) рассмотреть возможность адаптации ранее полученных результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в области ДЗЗ для использования на территории Удмуртии;

4) определить задачи дальнейших НИОКР в области ДЗЗ в интересах Удмуртии.

**Материал и методы.** Ранее в [5, 6] была поставлена задача создания цифровой модели местности (ЦММ) по результатам дешифрирования материалов космической съемки. Уточним постановку с учетом изменений технико-экономических условий в последние годы.

Пусть:

1. Для полигона **Pg** имеются следующие исходные носители информации:

1) материалы космической съемки:

- панхроматическая информация высокого и сверхвысокого разрешения **Chr**;

- многозональная информация высокого разрешения **Сm**;

- радиолокационная информация высокого разрешения **С1**;

2) модель местности (ММ), заданная с помощью:

- цифровой модели местности (ЦММ) или топоосновы **To**;

3) полевые описания эталонных участков **POe**, привязанные к топооснове;

4) ландшафтная карта **Lk**;

5) дополнительные материалы **Dm** (справочники, атласы и т.п.).

2. Целью создания ЦММ является проектирование цифровой модели номенклатурного листа топографической или тематической карты (ТК):

$$Mn = \{Ar, L, Lu, K\}, \quad (1)$$

в виде набора **N** площадных **Ar**, линейных **L**, условно-линейных **Lu** и точечных (компактных) **K** объектов с описанием для каждого объекта:

$$(Ii, Gri, Si) \quad i=1, \dots, N, \quad (2)$$

где **I** – имя; **Gr** – замкнутая граница, линейное или компактное изображение объекта;

$$S = (Z, P) \quad (3)$$

семантика объекта, представляющая собой условный знак **Z** и совокупность

$$P = (p1, p2, \dots, pM) \quad (4)$$

параметров (числовых характеристик) объектов.

3. На исходную информацию накладываются следующие ограничения:

1) изображение **C** представляет собой совокупность однородных текстурных областей

$$\{T(X)\} \quad (5)$$

на неоднородном естественном и/или антропогенном фоне **Φn** (гидрография, линейные, точечные объекты и т.п.);

здесь  $X = (x1, x2, \dots, xK) \quad (6)$

– признаки изображения, которые являются либо числовыми, либо задаются в более слабых шкалах; признаки также могут являться индикаторами;

2) отдельному эталонному участку **Ei** может соответствовать конечное число однородных текстурных областей **T(X)**;

3) ландшафтная карта **Lk** также имеет вид (1), при этом

$$ARi = Lsi, \quad (7)$$

где **Lsi** – вид ландшафта.

4. Тогда проектирование ЦММ выполняется следующим технологическим описанием:

1) по совокупности **{Ei}**, относящейся к отдельному объекту дешифрирования **D0(q)**, формируется решатель **Rq**; исходной информацией при этом служат **T(X)**, **MM**, **POe**; **{Ei}** и соответствующий **Rq** принадлежат одному ландшафту **LSi**, что является *существенным моментом* технологического описания и определяет основную суть ландшафтного метода;

2) по **Chr**, с привлечением **Сm**, **С1**, **MM**, **Dm** формируются векторные представления **{Vgri}** границ областей или линейного изображения объекта **{Gri}**;

3) решателями  $\{Rq\}$  по Chr, с привлечением  $Cm, Cl, MM$  дешифрируется семантика  $\{Si\}$  объектов;

4) по семантике  $\{S\}$ , векторному представлению  $\{Vgr\}$ , местоположению условно-линейных  $Lu$  и компактных  $K$  объектов, условным знакам  $\{Z\}$ , модели местности  $MM$  проектируется цифровая модель номенклатурного листа (1).

Вышеприведенное *технологическое описание* полностью определяет структуру и динамику процессов ИТ-создания ЦММ.

Методы дешифрирования (распознавания) материалов ДЗЗ делятся:

1) на прямые методы, в частности структурно-статистические [3, 4];



Рисунок 1 – Фрагмент космического фотоснимка. Масштаб 1:200 000

2) индикационные методы, в частности использующие логические решатели [5-7]. В упомянутых источниках дешифрировались следующие элементы ЦММ: породный состав лесов, количественные характеристики лесов, тип растительности, количественные характеристики растительности, тип наземного покрова лесов, тип болота, генетический тип почв, механический состав почв, генезис четвертичных отложений, литологический состав четвертичных отложений, глубина залегания первого водоносного горизонта в толще до 3 м. Данные элементы ЦММ в значительной мере характеризуют объекты сельского и лесного хозяйства.

Ниже представлены растровые фрагменты объектов местности территории Кизнерского района Удмуртии (рис. 1-3).

Ниже приведено содержание ландшафтов запада Удмуртии (окрестности п. Кизнер, отмеченные стрелочкой) [2].

**Ландшафты равнинно-платформенные бореальные умеренно континентальные Равнины подтаежные (с широколиственно- и мелколиственно-хвойными лесами)**

Ледниковые и водно-ледниковые аккумулятивные. II. Восточно-Европейские. 1340. Равнины увалистые, среднечетвертичные, с моренными холмами, с мелколиственно-еловыми, еловыми и мелколиственными лесами с примесью широколиственных пород, участками сельскохозяйственных земель.

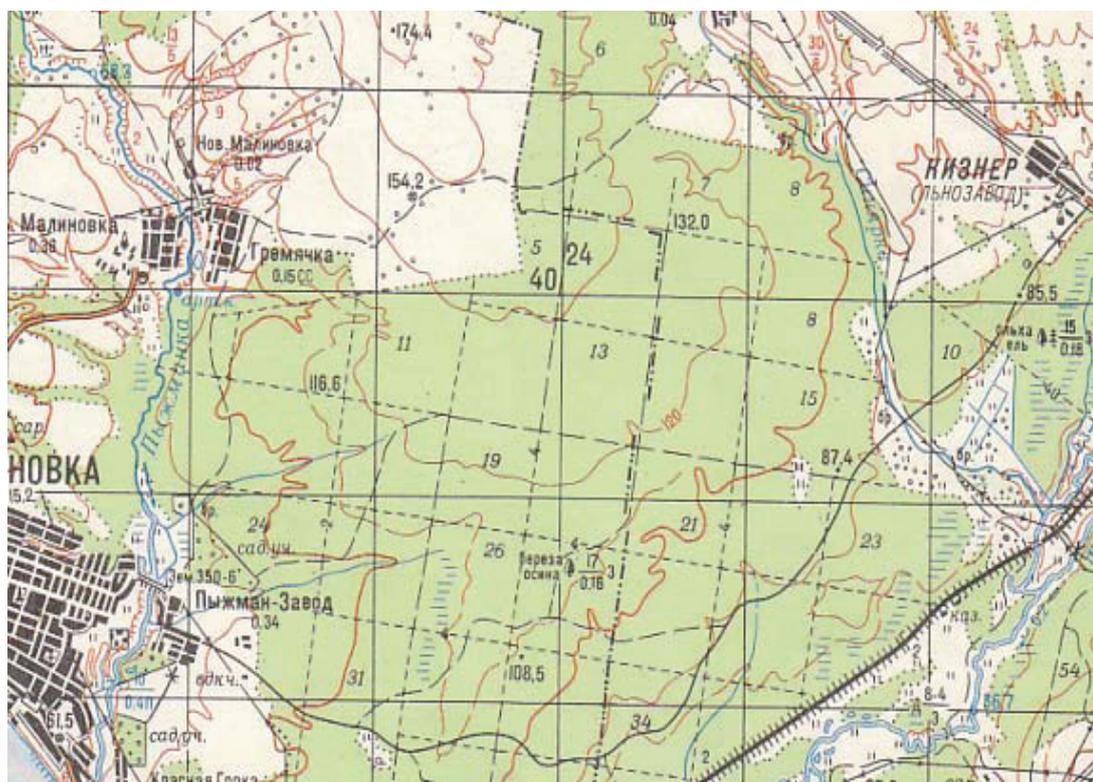


Рисунок 2 – Топооснова. Масштаб 1:100 000



Рисунок 3 – Ландшафтная карта. Масштаб 1:2 500 000

Смешанного происхождения аккумулятивно-денудационные. II. Восточно-Европейские. 137 и. Равнины волнисто-холмистые и плоские, с ложбинами, балками, с мелколиственными лесами с примесью широколиственных пород, с лугами и участками сельскохозяйственных земель.

Ниже приведены фрагменты системы признаков ЦММ для построения логических решателей.

**ЛАНДШАФТНЫЕ ПРИЗНАКИ**

- 012 Род ландшафта
- 015 Тип структуры фотоизображения
- РЕЛЬЕФ**
- 016 Абсолютная отметка, м
- 018 Превышение над базисом эрозии, м
- 019 Расстояние до базиса эрозии, км
- 028 Густота эрозионного расчленения
- 029 Элемент рельефа
- ГИДРОГРАФИЯ**
- 033 Ширина русла реки, м
- 034 Скорость течения, м/с
- 039 Обводненность (глуб. залегания грун.

вод), м

**РАСТИТЕЛЬНОСТЬ**

- 042 Тип древостоя

- Видовой состав для лесов, %
- 043 ель
- 044 сосна
- 045 береза
- Параметры древостоя
- 048 Н, м
- 052 Наземный покров
- ГОРНЫЕ ПОРОДЫ**
- 057 Генезис отложений
- Состав пород (по слоям, см)
- 058 0-10
- 059 10-20
- 060 20-50
- 064 свыше 300
- 065 Мощность рыхлых отложений

Здесь следует тщательно разрабатывать меню признаков, измеряемых в слабых шкалах, особенно в шкале наименования: 029 Элемент рельефа: 1 – уступы; 2 – обрывы; 3 – склоны; 4 – вершины; 5 – не определен.

**Результаты исследования.** На рис. 4–7 представлены индикационные логические решатели, построенные программной подсистемой ЛИДА [5–7], реализующей известный алгоритм DW [9]. Часто решатели такого рода реализуются в рамках экспертных систем и строятся на основе опыта экспертов, и, по мнению авторов, обладают существенной субъективностью. В отличие от этого программная подсистема ЛИДА использует переборную процедуру на эмпирических таблицах разнотипных данных. В результате построенные логические решатели обладают существенной объективностью [1].

В целом, в предыдущих исследованиях на ряде полигонов бывшего СССР, были получены следующие средние оценки надежности ИТ-дешифрирования материалов ДЗЗ:

- 1) для структурно-статистической технологии – порядка 77%;
- 2) для индикационной технологии – порядка 65%.

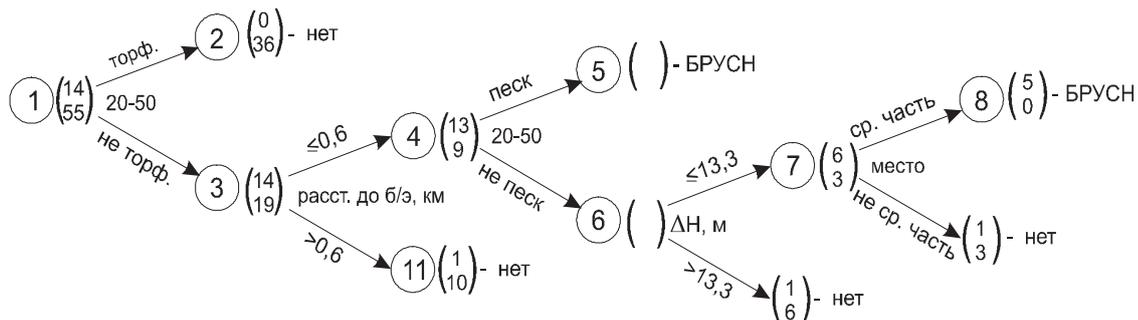


Рисунок 4 – Наземный покров – леса-брусничники (БРУСН)

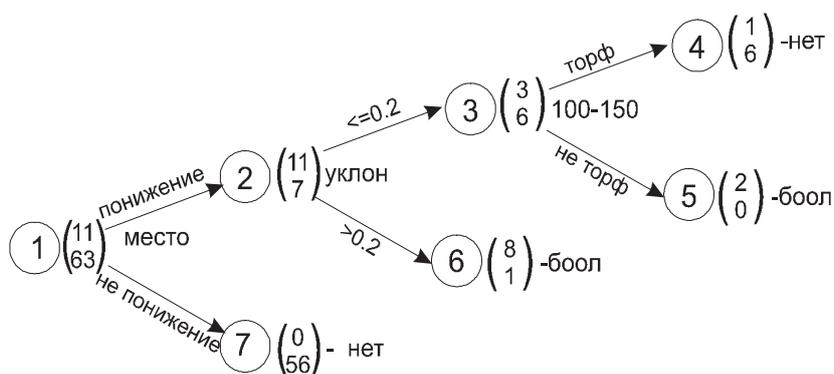


Рисунок 5 – Болото олиготрофное (БОУЛ)

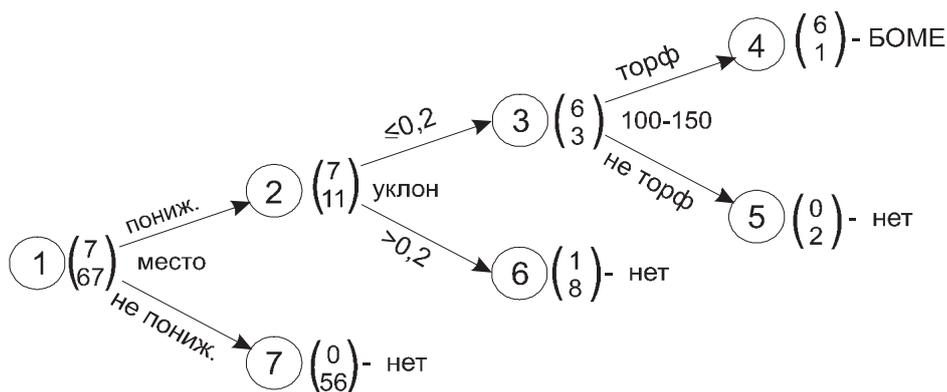


Рисунок 6 – Болото мезотрофное (БОМЕ)

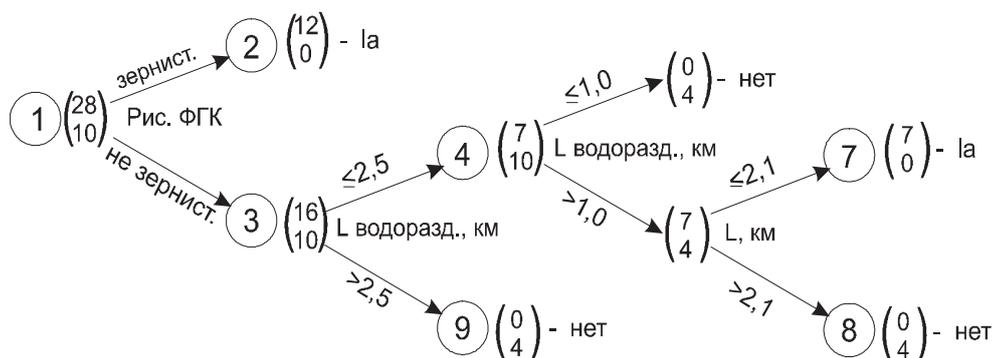


Рисунок 7 – Четвертичные отложения - озерно-аллювиальные (Ia)

При этом надежность визуального дешифрирования объектов ЦММ составляет величину порядка 30–40%.

Результаты проведенных исследований показали, что надежность ИТ-дешифрирования объектов местности по материалам ДЗЗ в 1,5-2 раза превосходит надежность визуального дешифрирования, что является хорошей предпосылкой для проведения дальнейших НИОКР на территории Удмуртии.

**Вывод.** В интересах Удмуртии необходимо решить следующие задачи:

1) спланировать получение материалов ДЗЗ на интересующие территории Удмуртии;

2) организовать в той или иной форме коллективы для проведения НИОКР и поставить перед ними конкретные задачи решения проблем сельского и лесного хозяйства, таких как:

характеристики лесов, характеристики растительности, тип болота, характеристики четвертичных отложений, характеристики объектов гидрогеологии;

3) обобщить результаты проведенных НИОКР и разработать научные рекомендации для сельского и лесного хозяйства;

4) разрабатывать математические модели исследования ДЗЗ для их дальнейшего использования не только в интересах Удмуртии, но и всей России.

#### Список литературы

1. Лбов, Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных / Г.С. Лбов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 160 с.

2. Легенда к ландшафтной карте СССР масштаба 1:2 500 000. – М.: Мин. Геологии СССР, ПГО «Гидроспецгеология», 1987. – 339 с.

3. Милич, В.Н. Экспериментальное исследование структурно-статистических свойств текстурных изображений / В.Н. Милич // Дискретные системы обработки информации. – Ижевск: ИМИ, 1981. – Вып. 3. – С. 9-16.

4. Мурынов, А.И. Анализ однородных пространственно-распределенных стохастических структур / А.И. Мурынов // Анализ и интерпретация пространственно-распределенных структур: Сб. науч. трудов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – С. 5–21.

5. Сметанин, А.А. Информационные технологии в научных исследованиях и учебном процессе «ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова» в области информационной безопасности / А.А. Сметанин, Е.Ф. Стукалина, А.М. Сметанин // Доклады Пленума СибРОУМО по образованию в области информационной безопасности и конференции: Томск-Иркутск, 9-13 июня 2014 г. – Томск: В-Спектр, 2014. – С. 110–119.

6. Сметанин, А.М. Информационная безопасность объектов местности: автоматизированное дешифрирование материалов аэрокосмической съемки / А.М. Сметанин // Доклады Томского гос. универс. систем управл. и радиоэлектроники. – 2008. – № 2 (18), часть 1. – Томск: ТУСУР, 2008 – С. 18–19.

7. Сметанин, А.М. Космическая съемка – основа создания цифровой модели местности / А.М. Сметанин // Наука Удмуртии. – 2011. – № 4. – С. 58–65.

8. Урличич, Ю. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного зондирования Земли / Ю. Урличич, В. Селин, К. Емельянов // Аэрокосмический курьер. – 2011. – № 6(78).

9. DW: программа распознавания образов // Пакет прикладных программ для обработки таблиц экспериментальных данных ОТЭКС (Версия 3.0). – Новосибирск: Институт математики СО АН СССР, 1981. – 18 с.

10. Геоинформационные системы и космический мониторинг [Электрон. ресурс]: сайт компании «Совзонд». – Режим доступа: <http://sovzond.ru/industry-solutions/agriculture>.

### Spisok literatury

1. Lbov, G.S. Metody obrabotki raznotipnyh jeksperimental'nyh dannyh / G.S. Lbov. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 160 s.

2. Legenda k landshaftnoj karte SSSR masshtaba 1:2 500 000. – М.: Min. Geologii SSSR, PGO «Gidrospeceologija», 1987. – 339 s.

3. Milich, V.N. Jeksperimental'noe issledovanie strukturno-statisticheskijh svojstv teksturnyh izobrazhenij / V.N. Milich // Diskretnye sistemy obrabotki informacii. – Izhevsk: IMI, 1981. – Вып. 3. – С. 9-16.

4. Murynov, A.I. Analiz odnorodnyh prostranstvenno-raspredelennyh stohasticheskijh struktur / A.I. Murynov // Analiz i interpretacija prostranstvenno-raspredelennyh struktur: Sb. nauch. trudov. – Sverdlovsk: UrO AN SSSR, 1988. – С. 5–21.

5. Smetanin, A.A. Informacionnye tehnologii v nauchnyh issledovanijah i uchebnom processe «IzhGTU im. M.T. Kalashnikova» v oblasti informacionnoj bezopasnosti / A.A. Smetanin, E.F. Stukalina, A.M. Smetanin // Doklady Plenuma SibROUMO po obrazovaniju v oblasti informacionnoj bezopasnosti i konferencii: Tomsk-Irkutsk, 9-13 ijunja 2014 g. – Tomsk: V-Spektr, 2014 – С. 110–119.

6. Smetanin, A.M. Informacionnaja bezopasnost' ob'ektov mestnosti: avtomatizirovannoe deshifrirovanie materialov ajerokosmicheskoj s#emki / A.M. Smetanin // Doklady Tomskogo gos. univers. sistem upravl. i radioelektroniki. – 2008. – № 2 (18), chast' 1. – Tomsk: TUSUR, 2008 – С. 18–19.

7. Smetanin, A.M. Kosmicheskaja s#emka – osnova sozdanija cifrovoj modeli mestnosti / A.M. Smetanin // Nauka Udmurtii. – 2011. – № 4. – С. 58–65.

8. Urlichich, Ju. O prioritetah prakticheskoi realizacii razvitija kosmicheskoi sistemy distancionnogo zondirovanija Zemli / Ju. Urlichich, V. Selin, K. Emel'janov // Ajerokosmicheskij kur'er. – 2011. – № 6(78).

9. DW: programma raspoznavanija obrazov // Paket prikladnyh programm dlja obrabotki tablic jeksperimental'nyh dannyh OTJeKS (Versija 3.0). – Novosibirsk: Institut matematiki SO AN SSSR, 1981. – 18 s.

10. Geoinformacionnye sistemy i kosmicheskij monitoring [Elektron. resurs]: sajt kompanii «Sovzond». – Rezhim dostupa: <http://sovzond.ru/industry-solutions/agriculture>.

### Сведения об авторах:

**Сметанин Андрей Анатольевич** – инженер. ОАО МТУ «Кристалл» (426000, Россия, г. Ижевск, ул. Максима Горького, 164, тел. (3412) 52-15-41).

**Стукалина Елена Федоровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 1, тел. (3412) 59-24-21).

**Сметанин Анатолий Михайлович** – действительный член Академии военных наук РФ, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники. Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 1, e-mail [sam@istu.ru](mailto:sam@istu.ru)).

A.A. Smetanin<sup>1</sup>, E.F. Stukalina<sup>2</sup>, A.M. Smetanin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>OJSC ITA «Kristall», Izhevsk;

<sup>2</sup> Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov

### NATURAL RESOURCES ASSESSMENT BY REMOTE SENSING METHODS FOR THE BENEFIT OF THE UDMURT REPUBLIC

*The article is devoted to the research of the Earth's remote sensing (ERS) applied to the territory of the Udmurt Republic. The thematic justification is proved as the modern technologies of ERS support operating and effective*

control of different areas of economic activities. The historical background is considered. Due to the acceptance of «Concept of Russian ERS system development for the period until 2025» the usage of satellite observation materials in the interest of the Udmurt Republic is analyzed. The purpose and objectives of research are formulated applying appropriate IT, including those of agricultural function. The possibility of adaptation of earlier results of research and development in ERS for the Udmurt Republic is considered. The IT of digital surface model (DSM) projection is described based on the results of satellite observation materials decoding. The raster member objects of land area of Kizner district of Udmurtia are introduced (satellite photograph, topographic base, landscape map); the landscapes of the western Udmurtia are described. The fragments of DSM characteristics system are given for the creation of logical solvers. Logical indication solvers made by software subsystem implementing the given algorithm are presented. It is reported that the solvers of such kind are often realized under expert systems. This work uses the exhaustive procedure based on empirical tables of diverse data. As a result, the created logical solvers are highly objective. The results of the conducted researches showed that the reliability of the IT decoding of terrain features based on ERS materials is 1.5-2 times better than the reliability of the visual decoding. It is a good precondition for conducting further research and construction works in the territory of Udmurtia. The scientific targets which should be solved in the interest of the Udmurt Republic are formulated: 1) to plan the acquisition of ERS materials for the Udmurt territories of interest; 2) to organize scientific groups for research and construction works and give them specific tasks for solving the problems of forestry and agriculture, such as forest and flora characteristics, types of bogs, characteristics of quaternary deposits, characteristics of hydrogeological objects; 3) to generalize the findings of conducted research works and develop the scientific recommendations for forestry and agriculture; 4) to develop the mathematical models for ERS research for their further use not only for the benefit of the Udmurt Republic but of the whole Russia.

**Key words:** Earth's remote sensing; satellite observation; digital surface model; information technology.

#### Authors:

**Smetanin Andrey Anatolyevich** – engineer, OJSC ITA «Kristall» (164, Maksim Gorky street, Izhevsk, Russian Federation, 426000, tel. (3412) 52-15-41).

**Stukalina Elena Fedorovna** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Computing Technique Department. Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov (1, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 59-24-21).

**Smetanin Anatoly Mikhaylovich** – Academician of Military Science Academy of the Russian Federation, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Computing Technique Department. Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov (1, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: sam@istu.ru).

УДК. 629.114.2

В.М. Федоров, Н.Д. Давыдов, С.А. Юферев

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ ПЕРЕПОДЖАТОГО ДВИГАТЕЛЯ

Одним из решений задачи по повышению экономичности бензинового двигателя внутреннего сгорания является увеличение степени расширения рабочего тела. Радикальный способ повысить степень расширения – это переход к более высокой степени сжатия и перевод двигателя на работу по переподжтому циклу. Для выявления закономерностей изменения регулировок угла опережения зажигания в переподжтом цикле сравнили и проанализировали особенности двух циклов четырехтактного бензинового двигателя: классического и переподжтого. Расчеты проведены для двигателя ВАЗ-2106 с различными степенями сжатия. В результате выяснили, что переподжтый цикл по своей реализации существенно отличается от цикла классического двигателя с искровым зажиганием. Диапазон регулировок угла опережения зажигания в переподжтом цикле уже, чем в классическом. Более узкие диапазоны регулировок требуют более высокой точности установки зажигания, то есть требуется микропроцессорная система зажигания. В переподжтом двигателе наиболее информативным параметром регулировки угла опережения зажигания является давление в цилиндре, которое желательно измерять во время работы двигателя для точной установки угла зажигания. Измерение давления в цилиндре лучше проводить непрямым индицированием двигателя при помощи датчика на одном из силовых элементов головки блока цилиндров двигателя.

**Ключевые слова:** четырехтактный бензиновый двигатель внутреннего сгорания; угол опережения зажигания; классический цикл работы двигателя; переподжтый цикл работы двигателя.

Повышение экономичности бензинового двигателя внутреннего сгорания является **актуальной** задачей. Одним из ее решений может стать повышение степени расширения ра-

бочего тела. Радикальный способ повысить степень расширения – это повышение степени сжатия и перевод двигателя на работу по переподжтому циклу [1].

Основной особенностью переподжатого цикла является работа двигателя с искровым зажиганием на сверхвысоких степенях сжатия с одновременным снижением значений угла опережения зажигания вплоть до отрицательных значений.

Если не отрегулировать угол опережения зажигания правильно, то возможен резкий рост давления в цилиндре двигателя и, как следствие, возникновение нагрузок в кривошипно-шатунном механизме, превышающих допустимые по условиям прочности, а также сильные нарушения процесса сгорания в двигателе.

Следовательно, самое серьезное внимание необходимо уделить правильному выбору угла опережения зажигания, точность поддержания которого на соответствующем режиме должна быть намного жестче, чем в классическом варианте реализации четырехтактного цикла с внешним зажиганием.

**Цель исследования:** выявление закономерностей изменения регулировок угла опережения зажигания в переподжатом цикле работы двигателя внутреннего сгорания.

Для достижения поставленной цели необходимо сравнить и проанализировать особенности двух циклов четырехтактного бензинового двигателя: классического и переподжатого.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 показаны результаты расчетов для двигателя ВАЗ-2106 с различными степенями сжатия, чтобы продемонстрировать разницу между переподжатым циклом и классическим (проведены авторами по программе расчета параметров четырехтактного газового двигателя, разработанной в МАДИ ТУ).

В таблице представлены основные особенности цикла и их качественная условная оценка.

Данные таблицы показывают, что степень сжатия в классическом цикле минимальна для КПД и экономичности, которых необходимо достичь.

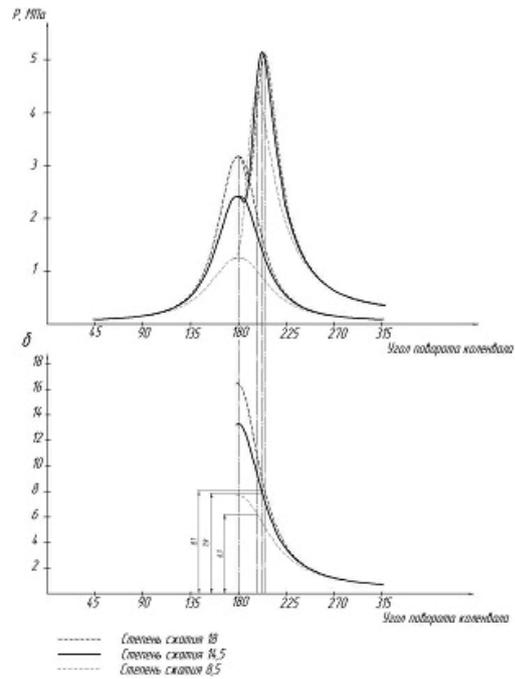


Рисунок 1 – Сравнение индикаторных диаграмм при различных степенях сжатия

Вместе с тем степень сжатия переподжатого двигателя существенно выше и может быть выбрана с «запасом». При этом нет привязки к «максимальной» степени сжатия, которая является ограничением в классическом цикле из-за возникновения детонации.

Максимальные давления в обоих циклах примерно одинаковые. Для этого требуется использование сходных деталей в кривошипно-шатунном механизме и, соответственно, примерно одинаковые нагрузки на них. Кроме того, максимальное значение давления в цикле должно быть достаточно высоким для достижения необходимой мощности.

Для сравнения скорости роста давления в цикле (классическом и переподжатым) необходимо рассмотреть два этапа: первый – это политропное сжатие смеси, второй – рост давления за счет увеличения внутренней энергии при сгорании.

**Сравнение циклов четырехтактного двигателя с искровым зажиганием**

Тип цикла	Классический	Переподжатый
Степень сжатия	-	+
Максимальное давление цикла	+	+
Скорость роста давления	+	-
Максимальная температура цикла	+	-
Температура последней несгоревшей части заряда	+	-
Количество теплоты, отданное в систему охлаждения	+	-
Давление конца сжатия	-	+
Температура конца сжатия	-	+
Относительная возможность ошибки УОЗ	-	+
Среднее индикаторное давление	-	+
Индикаторный КПД	-	+

Примечание: + лучшее значение фактора; - худшее значение фактора.

Скорость сжатия на первом этапе определяется в основном скоростью перемещения поршня, потерями в систему охлаждения, утечками в кольцевом уплотнении и т.д. Из этих факторов главный – это скорость поршня. При частотах вращения, принятых для современных двигателей, эта скорость сжатия не слишком высока в обоих вариантах цикла.

На втором этапе скорость роста давления существенно выше и зависит от условий протекания горения – она определяется в основном изменением баланса теплоты в камере сгорания, то есть подводом и отводом теплоты. Таким образом, чем меньше степень сжатия, тем большая доля процесса роста давления приходится на вторую часть и тем выше должна быть скорость роста давления для достижения расчетных значений давления в районе ВМТ при приемлемых значениях КПД в классическом цикле. Для переподжатого двигателя ситуация со скоростью роста давления складывается иначе. Основная часть роста давления приходится на процесс сжатия. Степень роста давления от сгорания существенно ниже и приходится на период за ВМТ, где существенная часть выделяющейся теплоты идет на совершение работы, поскольку поршень уже движется вниз от ВМТ. Следовательно, количество теплоты, идущей на повышение давления, уменьшается, рост давления получается более плавный, а скорость роста давления снижается.

Как известно, максимальная температура цикла достигается после максимального давления цикла. Обычно это объясняется высокой чувствительностью давления от изменения объема. В случае переподжатого цикла падение происходит резко, поскольку сгорание происходит на стадии расширения, кроме того, в этом случае ниже и общий уровень температур.

Температура последней части заряда очень важна для определения вероятности появления детонации. Так же как и максимальная температура цикла, она зависит от общего уровня температур в цикле. При классической реализации цикла бензинового двигателя основная доля сгоревшей смеси находится около ВМТ, где перемещения поршня малы. При этом общий уровень температур определяется величиной и скоростью подвода теплоты и величиной и скоростью отвода теплоты, поскольку работа, выполненная газом, в этот период минимальна. В случае переподжатого цикла тепловыделение смещается на такт расширения. Работа, производимая газами, в этот период возрастает, и это должно существенно снизить общий уровень температур.

Еще одним важным моментом является ограничение максимальной температуры цикла для снижения выбросов  $\text{NO}_x$ . Как показывают расчеты, применение переподжатого двигателя в этом случае помогает сильно снизить температуру и уменьшить вероятность появления условий для окисления азота.

Теплота, отданная окружающей среде, является существенным фактором потерь теплоты в двигателе внутреннего сгорания. От одной трети до одной четверти теплоты может уходить в систему охлаждения. Большая доля этих потерь в классическом варианте реализации цикла приходится на период между воспламенением смеси и ВМТ. В это время поршень еще идет вверх, давление существенно растет и резко возрастает температура. Между температурой стенок и температурой газов в камере сгорания появляется большой градиент температур, что резко увеличивает отдачу теплоты в стенки камеры сгорания. До 30% общих потерь теплоты в цикле, как показывают расчеты, приходится на этот период. В переподжатом цикле таких условий не создается и, соответственно, потери в систему охлаждения ниже.

Рост степени сжатия приводит к повышению давления и температуры рабочего тела в конце сжатия. Чем выше степень сжатия, тем ближе давление конца сжатия к максимальному давлению цикла. Таким образом, максимальное давление все больше достигается не посредством тепловой энергии топлива, а за счет кинетической энергии маховика, переданной поршню, который сжимает рабочее тело как газовую пружину. Максимальные температуры, которые достигаются при сжатии в реализации переподжатого цикла, не могут заставить рабочее тело детонировать, поскольку оно находится ниже температуры вспышки смеси.

Как расчеты, так и эксплуатация построенных макетных образцов двигателей с переподжатым циклом показывают, что диапазон изменения угла опережения зажигания существенно уменьшается по сравнению с классическим циклом. В этом случае существенными оказываются погрешности угла опережения зажигания, которые могут допускать автоматические устройства, регулирующие угол опережения зажигания. Для демонстрации этой особенности можно привести результаты сравнения расчетов циклов двух двигателей – ВАЗ 2106 со степенью сжатия 8,5 и рассчитанного на его основе переподжатого двигателя со степенью сжатия 18.

На рис. 2 в качестве примера приведен график изменения максимального давления в цикле двигателя от угла опережения воспламенения (часть регулировочной характеристики) для частоты вращения 1000 мин<sup>-1</sup>. ВМТ на этом рисунке соответствует значению угла поворота коленчатого вала 180°. Видно, что схожие значения давления для двух двигателей лежат в различных диапазонах углов. Если для классического цикла максимальное давление, соответствующее режиму с оптимальным углом воспламенения, соответствует значению 175° (5о до ВМТ), то для переподжатого двигателя этот угол, при котором достигается то же максимальное давление, равен 187°, то есть 7° после ВМТ.

Следует также отметить, что для переподжатого двигателя при углах, характерных для классического цикла, максимальные давления почти в два раза превышают давления в классическом цикле, что очень много.

Если это значение угла воспламенения 187° (или -7° с точки зрения угла опережения) принять за оптимальное при данном режиме, то можно сравнивать два цикла – классический и переподжатый.

Рассмотрим изменение максимальной температуры цикла двигателя, представленное в виде графика на рис. 3. На этом графике видно, что при выбранных углах значение максимальной температуры для переподжатого двигателя ниже, чем то же значение для двигателя при классическом способе реализации цикла. Это значит, что общий уровень температур в переподжатом цикле ниже, а это должно положительно сказаться на количестве вредных выбросов и ресурсе двигателя.

Для иллюстрации свойств переподжатого двигателя можно представить еще два графика. На рис. 4 представлен график суммарной работы цикла.

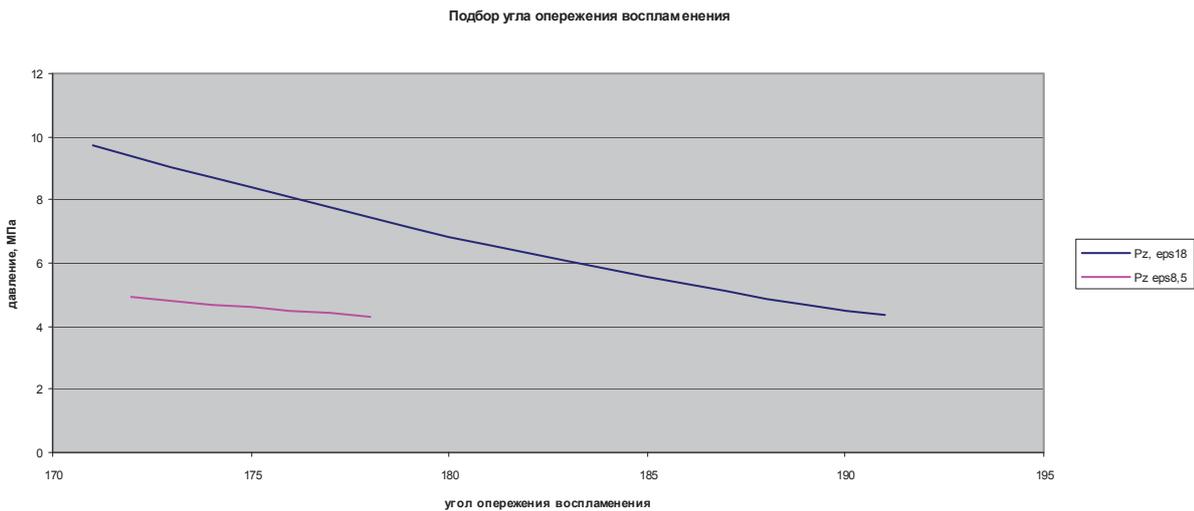


Рисунок 2 – Зависимость максимального давления цикла от угла опережения воспламенения.

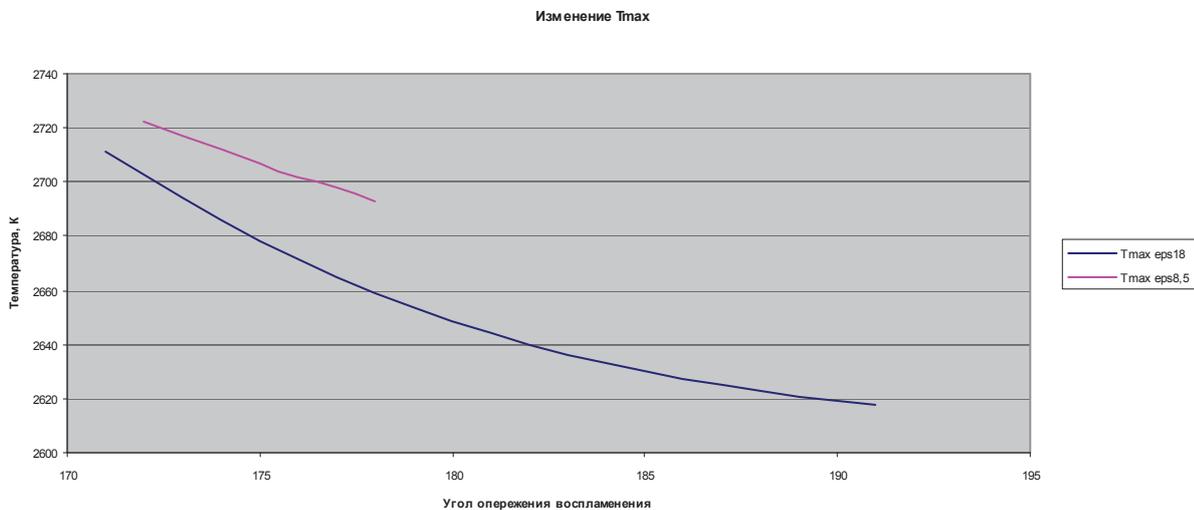


Рисунок 3 – Изменение максимальной температуры цикла при изменении угла опережения воспламенения

Суммарная работа цикла

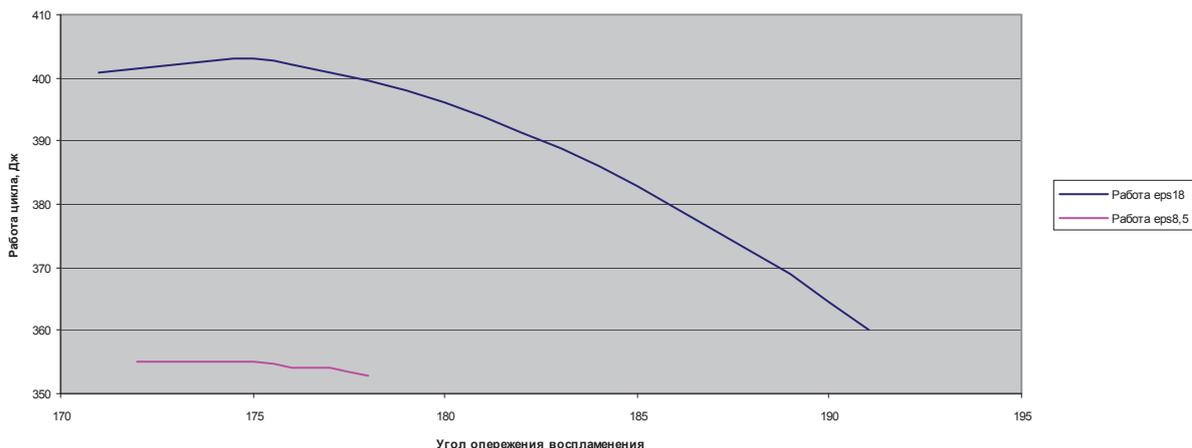


Рисунок 4 – Изменение работы цикла при изменении угла опережения воспламенения

В наших условиях изменение работы в цикле пропорционально изменению мощности двигателя. Как показано на графике, работа цикла в переподжатом цикле выше, чем в классическом.

На рис. 5 представлено изменение индикаторного КПД цикла. В этом случае опять классический цикл уступает переподжатому.

Результаты сравнения говорят о том, что переподжатый цикл имеет одновременно более высокие свойства мощности и экономичности, но при этом его протекание серьезно отличается от классического цикла, что требует совершенно другого набора факторов для оптимизации угла опережения зажигания.

Рассмотрим факторы, влияющие на выбор оптимального угла опережения зажигания при классической реализации цикла. В классическом цикле выбор угла опережения зажигания определяется продолжительностью первой части процесса сгорания – фазой развития

фронта пламени. Продолжительность фазы развития фронта пламени зависит от следующих факторов:

- скорость вращения коленчатого вала двигателя;
- нагрузка на двигатель;
- состав смеси;
- вид топлива.

Для автоматизации выбора угла опережения зажигания используются следующие автоматические устройства:

- скоростной корректор;
- корректор по нагрузке;
- октан-корректор.

Эти устройства могут быть выполнены либо в виде механических автоматов, либо в виде электронных устройств, внутрь которых заложена программа коррекции.

При использовании переподжатого цикла скоростной корректор должен быть сохранен, поскольку такой фактор, как скорость вращения коленчатого вала, сохраняется.

Изменение КПД

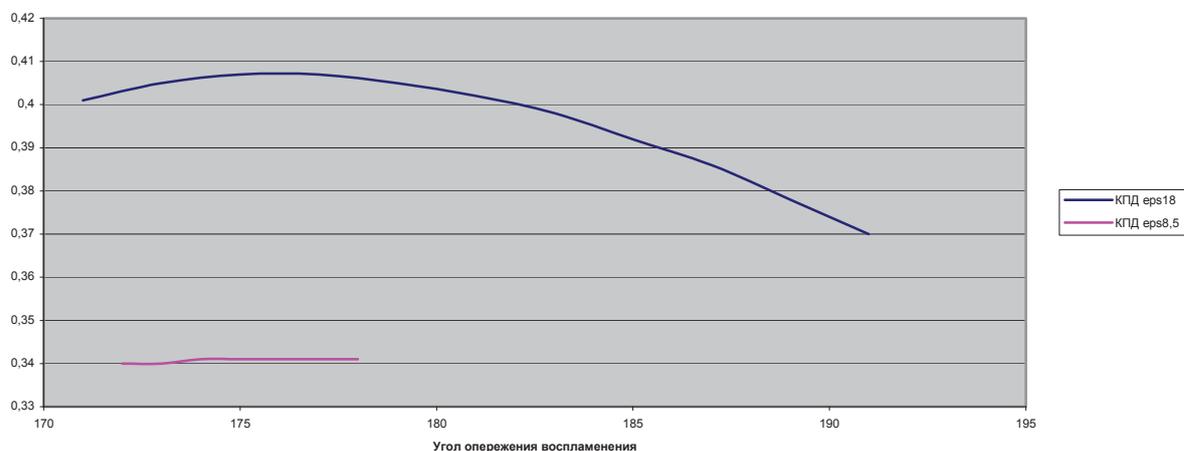


Рисунок 5 – Изменение КПД цикла при изменении угла опережения воспламенения

Возможно некоторое уменьшение диапазона регулирования автомата. Это связано с тем, что при повышении степени сжатия происходит увеличение температуры рабочего тела в конце сжатия, что положительно сказывается на продолжительности первой фазы сгорания.

Вакуумный корректор в классическом цикле должен обеспечивать смещение первой фазы сгорания на более ранний угол из-за разбавления смеси остаточными газами на частичных режимах и падения скорости сгорания в первой фазе.

В переподжатом двигателе на частичных режимах угол опережения зажигания относительно классического цикла должен быть поздним. При больших значениях коэффициента остаточных газов смесь будет гореть существенно медленнее. Это даст гарантию отсутствия нарушения горения в связи с детонацией, но приведет к снижению эффективности цикла. Вакуумный корректор для переподжатого мотора необходимо сохранить, но диапазон его работы будет существенно снижен из-за изменения сути регулировки. Это отмечают и авторы, проводившие экспериментальные исследования [2, 3].

Большое значение для классического цикла четырехтактного двигателя с искровым зажиганием имеет наличие октан-корректора, поскольку двигатель, реализующий классический рабочий цикл, при определенных режимах работы достигает критических температур последней части несгоревшего заряда, а это дает высокую вероятность появления детонации. Октан-корректор может сдвинуть угол опережения зажигания на меньшее значение и тем самым уменьшить вероятность появления детонации. Таким образом обычно и происходит использование низкосортного бензина в двигателях с достаточно высокой степенью сжатия.

В последнее время октан-корректор превратился в электронную систему регулирования, называемую антидетонационной. Современные антидетонационные системы используют для своей работы специальные датчики, которые определяют детонацию по амплитуде и частоте звуковых колебаний, распространяющихся по материалу блока двигателя. Алгоритмы, которые используются в антидетонационных системах, позволяют устранить нарушения сгорания при минимальном снижении экономичности.

В переподжатом двигателе условия работы октан-корректора меняются. За счет увеличения доли теплоты, уходящей на работу газов,

падает общий уровень температур. Это ведет к тому, что принятый алгоритм электронного октан-корректора правильно работать не будет. За счет того, что температуры в переподжатом двигателе ниже, может возникнуть ситуация, когда угол опережения зажигания будет смещаться в сторону более ранних углов и может наступить превышение допустимых значений максимального давления в цикле раньше, чем возникнет детонация. Таким образом, октан-корректору в переподжатом двигателе необходимо обеспечить не только бездетонационную работу, но и ограничение максимальных давлений цикла, то есть для надежной работы переподжатого двигателя необходимо проводить постоянное индицирование давления хотя бы в одном из цилиндров.

Обычно на транспортных двигателях не предусмотрены специальные отводы давления их камеры сгорания для проведения индицирования. Кроме того, для прямого индицирования в двигателе придется монтировать специальную систему, устанавливая дорогостоящий пьезокварцевый датчик, что неприемлемо для двигателей серийного или массового производства. Поэтому необходимо остановиться на косвенном индицировании, а датчик установить на элементы крепления головки блока цилиндров [4, 5]. Блок управления двигателем должен иметь дополнительный канал ввода сигнала для определения максимального давления цикла. В этом случае постоянно отслеживать форму индикаторной кривой нет необходимости. Достаточно иметь сигнал, что предельные нагрузки в деталях кривошипно-шатунного механизма не превышают допустимых пределов. Если все же это превышение произойдет, то октан-корректор должен уменьшить угол опережения зажигания.

#### **Выводы:**

1. Переподжатый цикл по своей реализации существенно отличается от цикла классического двигателя с искровым зажиганием.
2. Диапазон регулировок угла опережения зажигания в переподжатом цикле уже, чем в классическом.
3. Более узкие диапазоны регулировок требуют более высокой точности установки зажигания, то есть требуется микропроцессорная система зажигания.
4. В переподжатом двигателе наиболее информативным параметром регулировки угла опережения зажигания является давление в цилиндре, которое желательно измерять во время работы двигателя для точной установки угла зажигания.

5. Измерение давления в цилиндре лучше проводить непрямым индицированием двигателя при помощи датчика на одном из силовых элементов головки блока цилиндров двигателя.

### Список литературы

1. Федоров, В.М. Исследование параметров трактора Т-25 при использовании в качестве энергоустановки бензинового двигателя с повышенной степенью сжатия / В.М. Федоров, С.А. Юферев, С.Е. Селифанов // Аграрная наука – инновационному развитию АПК в современных условиях: Материалы Международной научно-практической конференции. 12-15 февраля 2013 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – Т. II. – С. 105-109.

2. Ибадуллаев, Г.А. Бензиновый двигатель внутреннего сгорания со сверхвысокой степенью сжатия / Г.А. Ибадуллаев. – Махачкала: ДГТУ, 2007.

3. Патент 16705 МПК: F01B 5/00, F01B 7/00, F01B 3/00, F01B 1/00, Поршневая машина (варианты) [Электрон. ресурс] / Ибрагимов Ильдар Равильевич; Опубликовано: 15.12.2005 // База патентов Казахстана: сайт. – Режим доступа: <http://kzpatents.com/0-pp16705-porshnevaya-mashina-varianty.html>.

4. Малышев, В.С. Техническая диагностика двигателей методом косвенного индицирования [Электрон. ресурс] / В.С. Малышев, А.Ю. Корегин // Наука и образование – 2002: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Режим доступа: [http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/anniversary\\_ntk/materials/section2/section2\\_4.html](http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/anniversary_ntk/materials/section2/section2_4.html).

5. Бабошин А.А. Результаты исследования метода косвенного индицирования поршневых двигателей внутреннего сгорания / А.А. Бабошин // Автотранспортное предприятие. – Август 2012.

### Spisok literatury

1. Fedorov, V.M. Issledovanie parametrov traktora T-25 pri ispol'zovanii v kachestve jenergoustanovki benzinovogo dvigatelja s povyshennoj stepen'ju szhatija / V.M. Fedorov, S.A. Juferev, S.E. Selifanov // Agrarnaja nauka – innovacionnomu razvitiju APK v sovremennyh uslovijah: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 12-15 fevralja 2013 g. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2013. – Т. II. – С. 105-109.

2. Ibadullaev, G.A. Benzinovyy dvigatel' vnutrennego sgoranija so sverhvysokoj stepen'ju szhatija / G.A. Ibadullaev. – Mahachkala: DGTU, 2007.

3. Patent 16705 МПК: F01B 5/00, F01B 7/00, F01B 3/00, F01B 1/00, Porshnevaja mashina (varianty) [Elektron. resurs] / Ibragimov Il'dar Ravil'evich; Opublikovano: 15.12.2005 // Baza patentov Kazahstana: sajt. – Rezhim dostupa: <http://kzpatents.com/0-pp16705-porshnevaya-mashina-varianty.html>.

4. Malyshev, V.S. Tehnicheskaja diagnostika dvigatelej metodom kosvennogo indicirovanija [Elektron. resurs] / V.S. Malyshev, A.Ju. Koregin // Nauka i obrazovanie – 2002: Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii. – Rezhim dostupa: [http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/anniversary\\_ntk/materials/section2/section2\\_4.html](http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/anniversary_ntk/materials/section2/section2_4.html).

5. Baboshin A.A. Rezul'taty issledovanija metoda kosvennogo indicirovanija porshnevyyh dvigatelej vnutrennego sgoranija / A.A. Baboshin // Avtotransportnoe predpriatie. – Avgust 2012.

### Сведения об авторах:

**Федоров Владимир Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (425069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Давыдов Николай Дмитриевич** – старший преподаватель кафедры тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (425069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

**Юферев Сергей Александрович** – аспирант. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (425069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

V.M. Fedorov, N.D. Davydov, S.A. Yuferev  
Izhevsk State Agricultural Academy

## REGULATION FACTORS OF IGNITION ADVANCE ANGLE IN OVERCOMPRESSED ENGINE

*One of the ways to gain in performance of a petrol internal combustion engine is to increase the expansion ratio of a working medium. The radical method of increasing the expansion ratio is higher compression and engine conversion to the overcompressed cycle. To reveal the trends of change in ignition advance angle in the overcompressed cycle the peculiarities of two cycles of a four-stroke petrol engine were compared and analyzed – the classical cycle and the overcompressed one. The calculations are given for VAZ-2106 engine with various degrees of compression. The results show that the overcompressed cycle differs essentially from the classical engine cycle with electric ignition. The range of regulations for ignition advance angle in the overcompressed cycle is narrower than in the classical one. The narrower ranges of regulations involve the higher setting accuracy of ignition, i.e. a microprocessor ignition timing system is required. The cylinder pressure which should be measured while in operation for the accurate determination of ignition angle is the most informative parameter of ignition advance*

*angle in the overcompressed engine. It is better to measure the cylinder pressure with indirect indication of an engine with the help of a sensor set on one of the load-bearing members of an engine cylinder head.*

**Key words:** *four-stroke petrol internal combustion engine; ignition advance angle; classical engine cycle; overcompressed engine cycle.*

**Authors:**

**Fedorov Vladimir Mikhaylovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Tractors, Cars and Agricultural Machines Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Davydov Nikolay Dmitriyevich** – Senior Lecturer of Tractors, Cars and Agricultural Machines Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

**Yuferev Sergey Aleksandrovich** – postgraduate. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

УДК 631.363.25: 681.521.71

В.И. Широбоков, В.А. Баженов, А.А. Мякишев, А.Г. Бастрогов

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ОТДЕЛИТЕЛЯ ПРИМЕСЕЙ ДЛЯ ДРОБИЛОК ЗЕРНА

*Статья посвящена исследованию возможности использования неизбежно возникающей вибрации дробилки для отделения металлических и минеральных примесей из зернового вороха перед измельчением зерна. Примеси, попадая в дробилку зерна, разрушают ее рабочие органы или приводят к интенсивному их изнашиванию. Существующие технические решения для удаления примесей перед дроблением не отвечают зоотехническим и технико-экономическим требованиям. Целью работы является повышение эффективности функционирования молотковых дробилок зерна путем совершенствования процесса отделения минеральных и металлических примесей из зернового вороха. В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи: разработать конструктивно-технологическую схему вибрационного отделителя примесей; экспериментально определить параметры виброотделителя. Под действием вибрации поток зерна можно представить как «псевдожидкость», поэтому примеси, имеющие большую плотность, погружаются в зерновой ворох. Разработанная конструкция вибрационного отделителя примесей позволяет регулировать в широких пределах значимые факторы, необходимые для теоретического и практического обоснования параметров виброотделителя. Из рабочего процесса становится очевидной необходимость определения минимальной длины рабочей части вибролотка или минимального расстояния от бункера до порошка. На основании предложенной схемы изготовлена лабораторная установка, которая позволяет моделировать процесс отделения примесей из зернового вороха с использованием вибрации, характерной для дробилок зерна. Исследованиями установлено: с увеличением напряжения электрического тока происходит нелинейное увеличение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора; наиболее близкое значение к частоте вращения вала дробилки зерна – это частота колебаний вибрационного лотка. Использование экспериментальных данных с применением теории подобия позволит определить параметры вибрационного отделителя примесей для конкретной дробилки зерна.*

**Ключевые слова:** *металлические и минеральные примеси; вибрационный отделитель; параметры; плотность; скорость; погружение; дробилки зерна.*

**Актуальность.** Обеспечение потребности животноводческой отрасли страны в собственных высококачественных кормах во многом зависит от уровня технических средств и способов переработки зерна. Эффективное и своевременное проведение этой технологической операции снижает потери и себестоимость приготовления кормов. В последнее время промышленность сократила выпуск технических

средств для отрасли животноводства, большинство из них закупается в странах ближнего и дальнего зарубежья, при этом поставляемое оборудование не в полной мере соответствует потребностям АПК [14].

Для измельчения зерна в комбикормовой промышленности и сельскохозяйственных предприятиях используются молотковые дробилки. В инженерном отношении изучение

процесса измельчения зерна имеет особое значение, так как эта операция является наиболее энергоемкой и дорогостоящей. Одним из недостатков современных дробилок является повышенный износ рабочих органов как следствие попадания в дробильную камеру металлических и минеральных примесей. Используемые в дробилках зерна отделители примесей работают неэффективно, снижая ресурс молотков, дек и решет. Поэтому для эффективного использования дробилок необходимо: разработать сепаратор и уточнить его конструктивные и технологические параметры; на основании полученных экспериментальных и теоретических исследований разработать устройство, которое позволяло бы удалять примеси из зернового вороха, используя собственную вибрацию дробилки.

Зоотехнические требования к концентрированным кормам предусматривают выполнение таких операций, как очистка и измельчение. Очистка от минеральных, органических примесей осуществляется на зерноочистительных машинах (сепараторы, бураты, грохоты и др.), от металлических примесей – на магнитных колонках (сепараторах). Содержание минеральных примесей (песок) в комбикормах допускается не более: 0,3% – для поросят-отъемышей; 0,5% – для молодняка, маток, свиней беконного и мясного откормов; 0,7% – для откорма свиней до жирных кондиций и маток, подготовленных к случке (ГОСТ 9267 – 68) [2]. Содержание металломагнитных примесей размером до 2 мм допускается на 1 кг корма не более: 10% – для поросят-отъемышей; 15% – для выращивания и откорма крупного рогатого скота в животноводческих комплексах (ГОСТ 9268 – 90) [4]; 20% – для цыплят молодняка кур и бройлеров (ГОСТ 18221 – 72) [3]; 25% – ремонтного молодняка свиней в возрасте от 4 до 8 месяцев; 30% – для кур-несушек и свиней. Наличие металломагнитных частиц больше

2 мм и с острыми краями не допускается. Таким образом, основным требованием при изготовлении концентрированных кормов является обеспечение минимального содержания минеральных и металлических примесей в готовом продукте. Кроме того, примеси значительно сокращают ресурс рабочих органов дробилки вследствие несовершенства конструкции и рабочего процесса [8, 9, 10, 13, 15].

В технологических линиях по приготовлению кормов для животных в основном применяются дробилки ударного действия – молотковые дробилки. Простота конструкции, высокая надежность, низкая металлоемкость устройства и простой способ регулирования степени измельчения готового продукта позволяют использовать молотковые дробилки во многих отраслях промышленности и сельскохозяйственного производства [7, 11]. Но наряду с преимуществами эти дробилки имеют и ряд недостатков. При попадании в камеру дробления инородных предметов (каменей, металлических предметов) сепарирующие решета, а иногда и молотки, как правило, выходят из строя или интенсивно изнашиваются (рис. 1).

На основании изложенного следует, что технологические и конструктивные параметры молотковых дробилок требуют совершенствования с целью снижения удельных энергозатрат на процесс измельчения зерна, улучшения качества получаемого продукта и повышения ресурса работы рабочих органов дробилок.

Как показал обзор конструкций для отделения примесей из зернового вороха [10, 16], специальное оборудование для этого с использованием вибрации самой дробилки в основном отсутствует. Разделяемые материалы имеют разную форму, плотность, коэффициент трения и ряд других свойств, что усложняет разработку, теоретическое и экспериментальное обоснование.



а



б



в

Рисунок 1 – Изношенные рабочие органы молотковой дробилки зерна: а – молотки; б – дека; в – сепарирующее решето

Наиболее близкими к решению поставленных цели и задач являются исследования, проведенные В.В. Гортинским и др. [5]. Предложенная методика достаточно проста в определении движения зернового материала по вибrolотку и начинается с определения параметра  $Z_0$ , характеризующего режим движения частицы. Однако данная методика позволяет найти скорость движения зерна по вибrolотку и не позволяет в полной мере теоретически описать движение частицы примеси в зерновом материале, так как не учитывает разницу плотностей примесей.

Таким образом, анализ исследований показал необходимость обоснования конструктивных и технологических параметров вибрационного отделителя металлических и минеральных примесей из зернового вороха.

**Целью работы** является повышение эффективности функционирования молотковых дробилок зерна путем совершенствования процесса отделения минеральных и металлических примесей из зернового вороха.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **задачи**: 1) разработать конструктивно-технологическую схему вибрационного отделителя примесей; 2) экспериментально определить параметры виброотделителя.

**Материал и методы.** Теоретически можно предположить, что дробильный барабан со временем вызывает вибрацию самой дробилки из-за переменной нагрузочной характеристики. Направление вибрации должно быть перпендикулярно оси вращения дробильного барабана. Для моделирования вибрации дробилки разработана конструктивно-технологическая схема виброотделителя, представленного на рис. 2. Назначение данного устройства состоит в отделении металлических и минеральных примесей из зернового материала, движущегося по лотку.

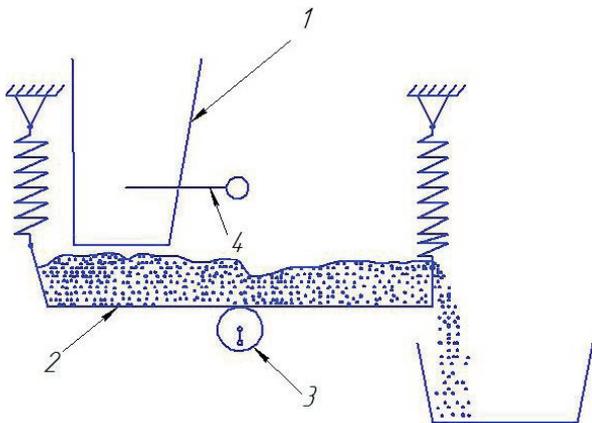


Рисунок 2 – Технологическая схема: 1 – бункер; 2 – лоток; 3 – вибратор; 4 – заслонка

Вибрационный отделитель примесей работает следующим образом.

Зерно вместе с примесями из бункера 1 через заслонку 4 поступает на вибrolоток 2 и под действием вибрации поступает через порожек в приемный бункер дробилки.

Под действием вибрации поток зерна можно представить как «псевдожидкость», поэтому примеси, имеющие большую плотность, оседают на дно вибrolотка и удерживаются порожком. Разработанная конструкция позволяет регулировать в широких пределах значимые факторы, необходимые для теоретического и практического обоснования параметров вибро-сепаратора: амплитуда, частота, угол наклона вибrolотка и др. Рабочий процесс показывает необходимость определения минимальной длины рабочей части вибrolотка или минимального расстояния от бункера до порожка. Для этого необходимо практически обосновать параметры виброотделителя, что в дальнейшем позволит обоснованно разработать устройство для отделения примесей к конкретным производственным устройствам. На основании предложенной схемы изготовлена лабораторная установка (рис. 3), которая позволяет моделировать процесс отделения примесей из зернового вороха с использованием вибрации, характерной для дробилок зерна.

Лабораторная установка изготовлена следующим образом. На основании 5 с помощью стоек 4 установлен вибrolоток 3 с порожком, на котором в нижней части закреплен вибратор 6. Вал вибратора 8 вращается на подшипниках качения, установленных в вилке корпуса 11, привод от двигателя постоянного тока 12 через установку выходного напряжения Б 5-7. На валу закреплен диск 10 с отверстиями, на разных расстояниях от центра вращения для крепления дисбаланса 9. На вибrolотке 3 сверху установлен загрузочный бункер 1 с заслонкой 2 для подачи зерна. На дне вибrolотка установлена контактная пластина 13, на выходе – лоток 14. К одной из стоек закреплена контрольная лампа 7. Процесс работы установки следующий. Зерно с примесями из бункера 1 с заслонкой 2 поступает на вибrolоток 3 и под действием напора из бункера и вибрации, создаваемой вибратором 8, «течет» по вибrolотку через порожек. Примеси по пути следования от бункера до порожка постепенно погружаются в зерновой ворох до дна вибrolотка 3 и удерживаются порожком. Очищенное от примесей зерно отводится через порожек на лоток 14.

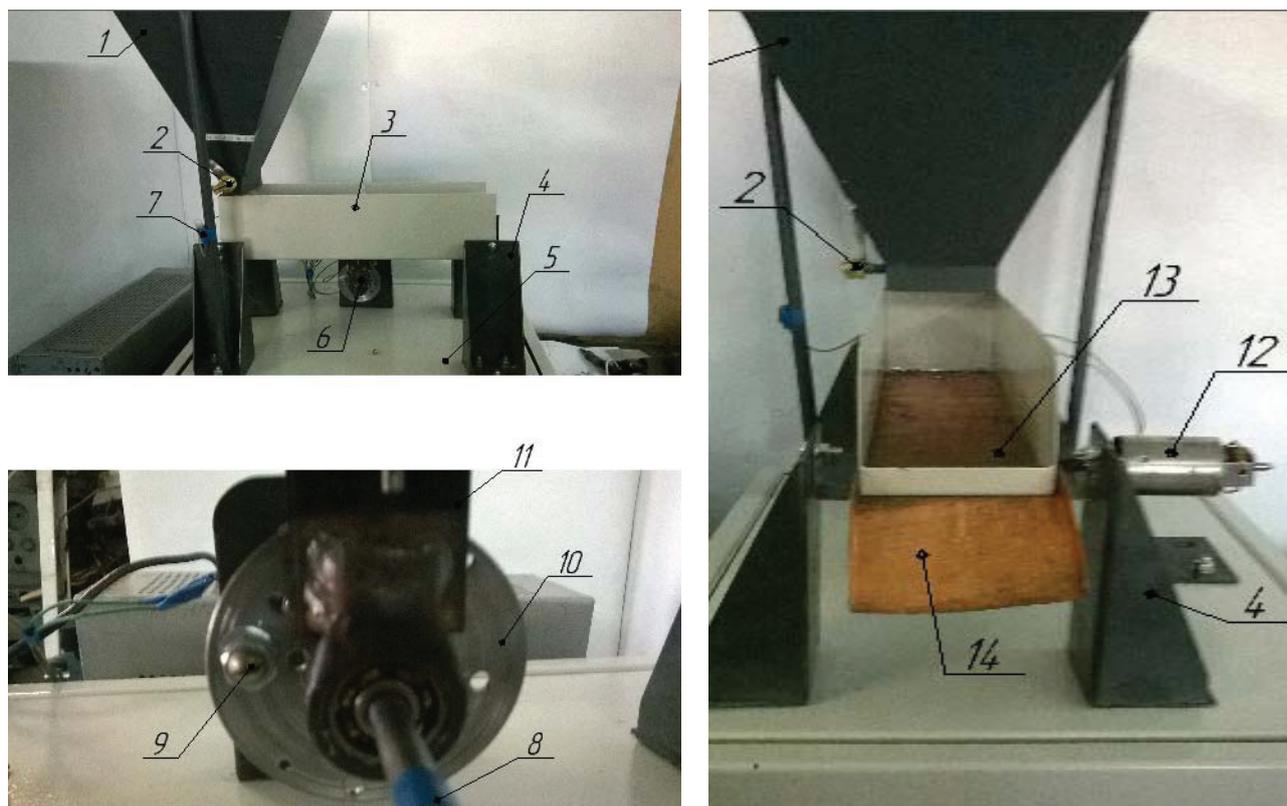


Рисунок 3 – Лабораторная установка

Исходя из обзора литературы [6, 12] по исследованию вибрационных установок, на рабочий процесс влияет большое количество факторов: конструктивно-технологические – размеры, масса, амплитуда, частота, углы наклона вибрлотка, толщина зернового материала на вибрлотке и др. и физико-механические – размеры и форма зерна и примесей, их плотность, насыпная масса, коэффициенты трения, угол естественного откоса и др. Для упрощения исследований часть физико-механических факторов приняты из результатов исследований, проведенных ранее [1]. Конструктивно-технологические факторы приняты исходя из логических соображений и возможности лабораторной установки и имеющихся приборов и средств измерения. В качестве критерия оптимизации принята рабочая длина вибрлотка, которая гарантированно бы обеспечивала отделение примесей из зерновой массы. При исследовании мощности холостого хода приняты следующие исходные параметры: установленная масса дисбаланса на вибраторе составляет  $7,41 \times 10^{-3}$  кг и расположена на расстоянии 0,03 м от центра вращения, направление вращения вала вибратора – против часовой стрелки. В качестве исследуемого материала принято зерно ржи, а примесей – стальная гайка, гравий, свинцовая пластина, медно-графитовая втулка. Физико-механические свойства зерна и примесей определены по известным методикам.

**Результаты исследования.** Зависимость мощности холостого хода  $P_{xx}$  и частоты вращения вала вибратора  $n_{xx}$  от подаваемого напряжения на электродвигатель  $U_d$  приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Таблица 1 – Зависимость мощности холостого хода  $P_{xx}$  и частоты вращения вала вибратора  $n_{xx}$  от подаваемого напряжения на электродвигатель  $U_d$

Напряжение $U_d$ , В	Сила тока $I$ , А	Мощность $P_{xx}$ , Вт	Частота вращения $n_{xx}$ , с <sup>-1</sup>
15	6,9	103,5	19
18	7,1	127,8	24,17
21	7,5	157,5	30,33
24	8,5	204	35
27	9,1	245,5	38,33

Анализ данных табл. 1 и рис. 4 показывает, что с увеличением напряжения электрического тока происходит нелинейное увеличение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора. Наиболее близкой по значению к частоте вращения вала дробилки зерна, а следовательно, и частоте колебаний является частота при напряжении 27 В. Поэтому для исследования процесса отделения примесей из зернового вороха принята частота колебаний при напряжении 27 В.

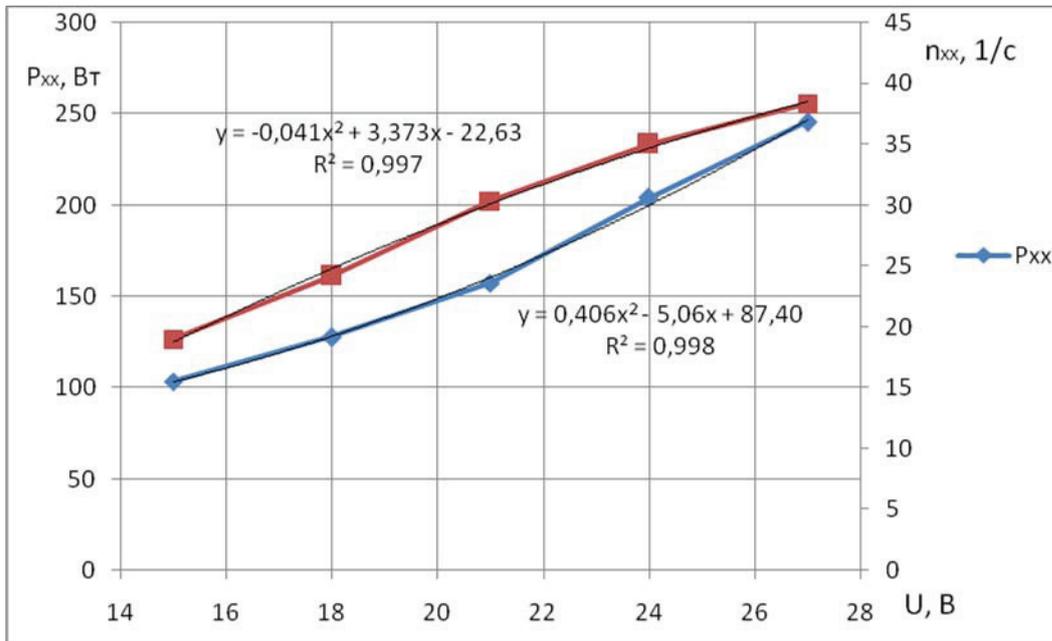


Рисунок 4 – Зависимость мощности холостого хода  $P_{xx}$  и частоты вращения вала вибратора  $n_{xx}$  от подаваемого напряжения на электродвигатель  $U_d$

Исследование работы виброотделителя примесей под нагрузкой проводили в следующей последовательности. Устанавливали напряжение электрического тока на установке выходного напряжения Б 5-7 равное 27 В. При этом масса и радиус расположения дисбаланса приняты как при исследовании виброуловителя без нагрузки. При установившемся режиме работы зафиксированы следующие параметры: сила электрического тока – 10,2 А; частота вращения вала виброуловителя – 41с<sup>-1</sup>; толщина зернового вороха над вибратором – 62 мм; угол наклона поверхности зернового вороха в лотке – 9°. Примеси укладывали на поверхность зернового вороха в месте выхода зерна из бункера и фиксировали время погружения примесей в зерновой ворох и путь, пройденный примесями до полного погружения в вертикальной  $S_y$  и горизонтальной  $S_x$  плоскостях. Опыты проводили в трехкратной повторности. Рассчитывали скорость погружения и скорость

движения примеси по поверхности зернового вороха, то есть горизонтальная  $V_x$  и вертикальная  $V_y$  составляющие скорости погружения примесей в зерновой ворох. Укладка примесей осуществлялась в месте наилучшего воздействия вибрации на зерновой ворох, то есть посередине лотка непосредственно у бункера. В иных случаях, как показали экспериментальные исследования, скорость погружения примесей в зерновой ворох увеличивается и достигает наибольшего значения у вертикальных стенок лотка. Результаты расчетов представлены в табл. 2, а зависимость скоростей от плотности примесей  $\rho_n$  – на рис. 5.

Для принятых значений параметров работы виброотделителя примесей, то есть толщине зернового вороха над вибратором – 62 мм, амплитуде –  $2,88 \times 10^{-3}$  м и частоте колебаний вибрототка – 41с<sup>-1</sup>, минимальная длина вибрототка при отделении гравия составит 0,277 м.

Таблица 2 – Результаты исследования скорости погружения примесей в зерновой ворох

Характеристики	Исследуемый материал			
	гравий	втулка	гайка стальная	свинцовая пластина
Плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	2778	5950	8060	10800
Путь $S_y$ , $\times 10^{-3}$ м	16,3	16,3	12,5	15,9
Путь $S_x$ , $\times 10^{-3}$ м	72	47	36	31
Время, с	50,23	32,49	22,92	19,94
Скорость $V_y$ , $\times 10^{-3}$ м/с	0,32	0,50	0,55	0,80
Скорость $V_x$ , $\times 10^{-3}$ м/с	1,43	1,45	1,57	1,55
Скорость общая $V_{xy}$ , м/с	1,46	1,53	1,66	1,74

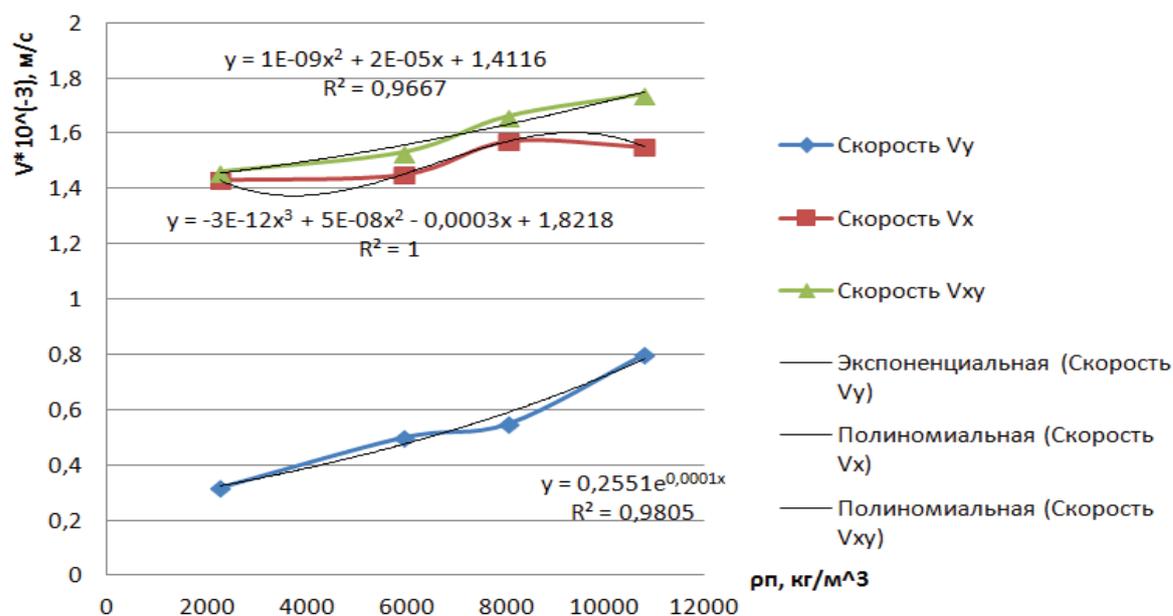


Рисунок 5 – Зависимость скоростей движения примесей в зерновом ворохе от их плотности

**Вывод.** Полученные математические модели на основании экспериментальных данных позволяют решить ряд инженерных задач производственного значения, главной из которых является определение длины пути, пройденной частицей примеси, с наименьшими условиями погружения в зерновой ворох под действием вибрации. Как показали экспериментальные исследования, наименьшие условия погружения примесей находятся в середине лотка рядом с бункером. Так как скорость погружения примесей у вертикальных стенок вибрационного лотка значительно выше, то для увеличения скорости отделения примесей необходимо установить вертикальные рассекатели зернового потока. Использование экспериментальных данных с применением теории подобия позволит определить параметры вибрационного отделителя примесей для конкретной дробилки зерна.

### Список литературы

1. Исследование вибрационного уловителя примесей для дробилок зерна / Р.С. Байтуков, В.И. Ширококов, А.А. Мякишев [и др.] // Студенческая наука – устойчивому развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской студ. науч. конф., 17-20 марта 2015 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015. – Т. 2. – С. 158-162.
2. ГОСТ 9267-68. Комбикорма-концентраты для свиней. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 6 с.
3. ГОСТ 18221-72. Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.

4. ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.

5. Гортинский, В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – С. 68-74.

6. Лапшин, В.Л. Исследование влияния амплитуды колебаний деки на процесс вибросепарации слюдяного сырья / В.Л. Лапшин, Н.В. Тельнов // Горн. информ.-аналит. бюл. – М.: Изд-во Моск. горн. ун-та, 2010. – № 6. – С. 251-265.

7. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм: учеб. для вузов / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.

8. Патент №124190 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/04, Дробилка для зерна / В.И. Ширококов, В.А. Жигалов, О.С. Федоров, А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА – №2012121280/13; заявл. 23.05.12; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2 – 2 с.: ил.

9. Патент № 83946 Российская Федерация, МПК В02С13/00, Дробилка для фуражного зерна / В.И. Ширококов, Ф.Г. Стукалин, В.А. Жигалов, В.А. Николаев, О.С. Федоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА – № 2008141746/22; заявл. 21.10.08; опубл. 27.06.09, Бюл. № 18 – 2 с.

10. Патент № 124190 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/00, Дробилка для зерна / В.И. Ширококов, В.А. Жигалов, О.С. Федоров, А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА – № 2012121280; заявл. 23.05.13; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2 – 4 с.

11. Сысуев, В.А. Кормоприготовительные машины. В 2 т. Т. 1. Теория, разработка, эксперимент / В.А. Сысуев, А.В. Алешкин, П.А. Савиных. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2008. – 640 с.

12. Тищенко, Л.Н. К расчету вибровязкости псевдооживленной сыпучей среды при виброцентробежном сепарировании / Л.Н. Тищенко, Ф.М. Абдуева, В.П. Ольшанский // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2007. Вип. 58. – С. 44-51.

13. Ширококов, В.И. Модернизация дробилки фуражного зерна / В.И. Ширококов, А.Г. Иванов, О.С. Федоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 1. – С. 21-23.

14. Ширококов, В.И. Вибрационный уловитель примесей для молотковых дробилок зерна / В.И. Ширококов, А.М. Григорьев // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2 (35). – С. 77-79.

15. Ширококов, В.И. Вибрационный уловитель примесей для молотковых дробилок зерна / В.И. Ширококов, А.М. Григорьев // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2(35). – С. 77-79.

16. Ширококов, В.И. Анализ устройств для удаления минеральных и металлических примесей из зернового вороха / В.И. Ширококов, Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова // Наука, инновации и образование в современном АПК: материалы Международной науч.-практ. конф., 11-14 фев. 2014 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – Т.3. – С. 150-154.

### Spisok literatury

1. Issledovanie vibracionnogo ulovitelja primesej dlja drobilok zerna / R.S. Bajtukov, V.I. Shirobokov, A.A. Mjakishev [i dr.] // Studencheskaja nauka – ustojchivomu razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa: materialy Vserossijskoj stud. nauch. konf., 17-20 marta 2015 g. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2015. – Т. 2. – С. 158-162.

2. GOST 9267-68. Kombikorma-koncentraty dlja svinej. Tehnicheskie uslovija. Pereizdanie s izmenenijami. – М.: Izd-vo standartov, 1993. – 6 s.

3. GOST 18221-72. Kombikorma polnoracionnye dlja sel'skohozjajstvennoj pticy. Tehnicheskie uslovija. Pereizdanie s izmenenijami. – М.: Izd-vo standartov, 1991. – 13 s.

4. GOST 9268-90. Kombikorma-koncentraty dlja krupnogo rogatogo skota. Tehnicheskie uslovija. – М.: Izd-vo standartov, 1991. – 10 s.

5. Gortinskij, V.V. Processy separirovanija na zernopererabatyvajushhijh predpriyatijah / V.V. Gortinskij, A.B. Demskij, M.A. Boriskin. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Kolos, 1980. – С. 68-74.

6. Lapshin, V.L. Issledovanie vlijanija amplitudy kolebanij deki na process vibroseparacii sljudjanogo syr'ja /

V.L. Lapshin, N.V. Tel'nov // Gorn. inform.-analit. bjul. – М.: Izd-vo Mosk. gorn. un-ta, 2010. – № 6. – С. 251-265.

7. Mel'nikov, S.V. Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm: ucheb. dlja vuzov / S.V. Mel'nikov. – Л.: Kolos, 1978. – 560 s.

8. Patent №124190 Rossijskaja Federacija, MPK V 02 S 13/04, Drobilka dlja zerna / V.I. Shirobokov, V.A. Zhigalov, O.S. Fedorov, A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Izhevskaja GSHA – №2012121280/13; zajavl. 23.05.12; opubl. 20.01.13, Bjul. № 2 – 2 s.: il.

9. Patent № 83946 Rossijskaja Federacija, MPK V02S13/00, Drobilka dlja furazhnogo zerna / V.I. Shirobokov, F.G. Stukalin, V.A. Zhigalov, V.A. Nikolaev, O.S. Fedorov; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Izhevskaja GSHA – № 2008141746/22; zajavl. 21.10.08; opubl. 27.06.09, Bjul. № 18 – 2 s.

10. Patent № 124190 Rossijskaja Federacija, MPK V 02 S 13/00, Drobilka dlja zerna / V.I. Shirobokov, V.A. Zhigalov, O.S. Fedorov, A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO IzhevskajaGSHA - № 2012121280; zajavl. 23.05.13; opubl. 20.01.13, Bjul. № 2 – 4 s.

11. Sysuev, V.A. Kormopriготовitel'nye mashiny. V 2 t. T. 1. Teorija, razrabotka, jeksperiment / V.A. Sysuev, A.V. Aleshkin, P.A. Savinyh. – Kirov: Zonal'nyj NIISH Severo-Vostoka, 2008. – 640 s.

12. Tishhenko, L.N. K raschetu vibrovjazkosti psevdoozhivlennoj sypuchej sredy pri vibrocentrobeznom separirovanii / L.N. Tishhenko, F.M. Abdueva, V.P. Ol'shanskij // Suchasni naprjamki tehnologii ta mehanizaciji procesiv pererobnih i harchovih virobniectv: Visnik HNTUSG. – Harkiv: HNTUSG, 2007. Vip. 58. – С. 44-51.

13. Shirobokov, V.I. Modernizacija drobilki furazhnogo zerna / V.I. Shirobokov, A.G. Ivanov, O.S. Fedorov // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 2010. – № 1. – С. 21-23.

14. Shirobokov, V.I. Vibracionnyj ulovitel' primesej dlja molotkovyh drobilok zerna / V.I. Shirobokov, A.M. Grigor'ev // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2013. – № 2 (35). – С. 77-79.

15. Shirobokov, V.I. Vibracionnyj ulovitel' primesej dlja molotkovyh drobilok zerna / V.I. Shirobokov, A.M. Grigor'ev // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2013. – № 2(35).

16. Shirobokov, V.I. Analiz ustrojstv dlja udalenija mineral'nyh i metallicheskih primesej iz zernovogo voroha / V.I. Shirobokov, R.S. Bajtukov, E.V. Bajtukova // Nauka, innovacii i obrazovanie v sovremennom APK: materialy Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., 11-14 фев. 2014 g. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2014. – Т.3. – С. 150-154.

### Сведения об авторах:

**Ширококов Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: vlh150@rambler.ru).

**Баженов Владимир Аркадиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированного электропривода. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: bazhenov@izhsha.ru).

**Мякишев Андрей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: maa878@mail.ru).

**Бастригов Анатолий Геннадьевич** – аспирант, ассистент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

V.I. Shirobokov, V.A. Bazhenov, A.A. Myakishev, A.G. Bastrigov  
*Izhevsk State Agricultural Academy*

## THE RESULTS OF THE PRELIMINARY STUDIES OF VIBRATIONAL IMPURITY TRAP FOR GRAIN CRUSHERS

*The article studies the applicability of inevitable grain crusher vibrating for separation of metal and mineral impurities from grain heaps before grain refinement. When impurities get into the grain crusher they destroy its inner tools or lead to their intensive wearing. Current technical solutions for pre-refinement impurities removal do not meet zootechnic and techno-economic requirements. The work objective is the efficiency improvement of hummer grain crushers by means of developing the separation process of the mineral and metal impurities from grain heaps. According to the target goal the work solves the following problems: to develop a constructive technological scheme of a vibrational impurity trap and determine its characteristics experimentally. Under vibration the grain stream can be seen as "pseudoliquid" that is why impurities with higher density sink in the grain heap. The developed design of the impurity trap offers the possibility of controlling significant factors necessary for theoretical and practical basis for vibratory separator characteristics in wide range. It becomes obvious from the working process that it is necessary to determine such parameters as the minimal length of working part of a vibrating chute or the minimal distance from tanker to sill. A laboratory machine based on the proposed scheme was produced. It provides the possibility of simulating the process of impurities separation from grain heaps using vibrations, which is common for grain crushers. The research showed that with the electrical voltage increase the idle power and shaft speed grow nonlinearly; the oscillation frequency of a vibrating chute is the closest parameter to shaft speed of grain crushers. The usage of experimental data with the application of similarity theory can identify the characteristics of vibrational impurity trap for a certain grain crusher.*

**Key words:** metal and mineral impurities; vibrational impurity trap; characteristics; density; speed; sinking; grain crushers.

### Authors:

**Shirobokov Vladimir Ivanovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Acting Head of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: vlh150@rambler.ru).

**Bazhenov Vladimir Arkadiyevich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Automatic Electric Drive Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: bazhenov@izhsha.ru).

**Myakishev Andrey Aleksandrovich** – Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Life Safety Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: maa878@mail.ru).

**Bastrigov Anatoly Gennadyevich** – postgraduate, Teaching Assistant of Machinery Maintenance and Operation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

1. К публикации принимаются соответствующие основным научным направлениям журнала статьи, содержащие новые, ранее не опубликованные результаты научных исследований, разработки, готовые к практическому применению, а также материалы, представляющие познавательный интерес.

2. В связи с включением журнала в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) автор публикации предоставляет редакции журнала «Вестник Ижевской ГСХА» неисключительные права на статью для их опубликования.

3. Рукопись статьи представляется непосредственно в редакцию журнала или присылается по почте (в т. ч. электронной) в виде компьютерной распечатки с приложением носителя (CD-R или CD-RW диск, USB-носитель) с записанным текстом (в формате Microsoft Word 2003 с расширением файла \*.rtf или \*.doc) и иллюстрационным материалом.

Статья должна содержать следующие структурные элементы: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования (желательно наличие иллюстративного материала: таблицы, рисунки), выводы.

4. Текст должен быть набран шрифтом Times New Roman. Размер шрифта 14 (для основного текста), 12 – для дополнительного текста (текста таблиц, списка литературы и т. п.). Междустрочный интервал для текста полусторонний; режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Формат бумаги А4 (210x297 мм). Поля: сверху, снизу, слева – 2,0 см, справа – 2,5. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту (1,27 или 1,5 см). Номера страниц ставятся внизу и посередине.

5. Таблицы должны быть созданы в Microsoft Word. Шрифт шапки таблицы – 11 (жирн.), текста таблицы – 12. Междустрочный интервал для таблиц одинарный. Ширина таблицы должна совпадать с границами основного текста, горизонтальные таблицы необходимо поместить в отдельные файлы.

6. Рисунки допускаются только черно-белые, штриховые, без полутонов и заливки. В рисунках необходимо предусмотреть 1,5-кратное уменьшение. Ширина рисунков – не более ширины основного текста. Дополнительно рисунки представляются в отдельных файлах в одном из следующих форматов: \*.jpeg, \*.eps, \*.tiff.

7. Все математические формулы должны быть тщательно выверены. Электронная версия представлена в формате Microsoft Equation 3.1.

8. Объем рукописи должен быть не менее 14 стандартных страниц текста, включая таблицы и рисунки.

9. Сведения об авторе должны содержать: фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, должность, полное название организации – место работы каждого автора в именительном падеже, страна, город (на русском и английском языках); E-mail для каждого автора, корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

10. Название статьи приводится на русском и английском языках.

11. Аннотация приводится на русском и английском языках и повторяет структуру статьи: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования, выводы. Аннотация должна содержать не менее 200 слов.

12. Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой. Ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

13. Статья должна быть подписана всеми авторами.

14. Пристатейный список литературы должен оформляться по ГОСТ 7.1-2003. В тексте статьи ссылки на литературу оформляются в виде номера в квадратных скобках на каждый источник. В список литературы желательно включать статьи из периодических источников: научных журналов, материалов конференций, сборников научных трудов и т. п., нельзя ссылаться на неопубликованные работы. Источники (не менее 7) в списке литературы размещаются строго в алфавитном порядке. Сначала приводятся работы авторов на русском языке, затем на других языках. Все работы одного автора необходимо указывать по возрастанию годов издания. Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в пристатейном списке литературы, а также за точность приводимых в рукописи цитат, фактов, статистических данных. Пристатейный список литературы приводится на русском языке.

15. Статьи, оформленные с нарушением требований, рассматриваться и публиковаться не будут.

16. К статье прилагается рецензия (внешняя), составленная доктором наук по направлению исследований автора (формат jpg). Рецензия должна содержать: полное название статьи; должность автора статьи; его фамилию, имя, отчество; краткое описание проблемы, которой посвящена статья; степень актуальности предоставляемой статьи; наиболее важные аспекты, раскрытые автором в статье; рекомендацию к публикации; сведения о рецензенте (ученая степень, ученое звание, должность, место работы, фамилия, имя отчество, подпись, гербовая печать). Рецензирование всех научных статей обеспечивается редакцией. Рецензирование проводят члены редакционной коллегии или приглашенные редакцией рецензенты.

## INFORMATION FOR AUTHORS

1. Articles submitted for publication should conform to the main scientific directions of the journal, contain previously unpublished results of original researches, developments which are ready for use in practical work, as well as the materials of cognitive interest.

2. Due to the journal including in the Russian Science Citation Index the author of publication gives non-exclusive rights for the article publication to the editorship of "Vestnik of Izhevsk SAA".

3. Manuscripts should be presented to the editorial office directly or submitted by mail (e-mail) in the printed form with an electronic version of the article (Microsoft Word 2003, \*.rtf file or \*.doc file) on CD-R, CD-RW, Flash drive.

The article should include the following structural parts: relevance, the aim and tasks, materials and methods, research results (supporting data and illustrative material are desirable: tables, drawings), conclusions.

4. The print size type of the text is Times New Roman, font size 14 is for the main part, 12 – for the additional text (tables, literature references etc.). Line spacing is one-and-a-half; justified alignment; automatic hyphenation. The article must be printed on paper with format of A4 (210x297). The sidelines: above, below and left – 2 cm, right – 2.5 cm. The paragraph break must be the same in the whole text (1.27 or 1.5 cm). Page numbers are put in the centre below.

5. Tables must be executed in Microsoft Word. The font of table heading is 11 (bold), table texts – 12; single space. The width of the table must be the same as the main text lines, horizontal tables should be placed in a separate file.

6. Only black-and-white drawings, drawings in lines, without halftones and filling are allowed. It is necessary to provide for 1.5-fold reduction in the drawings. The drawing width must not be more than the width of the main text. In addition, the drawings are presented in separate files in one of the following formats: \*.jpeg, \*.eps, \*.tiff.

7. All mathematical formulae must be accurately adjusted. The electronic version should be provided in format Microsoft Equation 3.1.

8. The volume of the manuscript should not be less than 14 standard pages of the text including tables and drawings.

9. Information about the author should contain: the surname, first name and patronymic; science degree, academic rank, position, full name of organization – place of work of every author, city and country (in the

Russian and English languages); e-mail of every author, correspondent postal address and contact telephone number (may be one for all authors).

10. The title of the article is given in Russian and English.

11. The annotation of the article is given in Russian and English and it should reflect the structure of the article: relevance, the aim and tasks, materials and methods, research results, conclusions. The annotation should contain minimum 200 words.

12. Key words or word combinations are separated by semicolon. Key words are printed in Russian and English.

13. The article must be signed by all its authors.

14. The literature reference list of the article must be done according to the state standard GOST 7.0.1-2003. References to the resources of information in the text are indexed with numbers and given in square parentheses. The reference list should include articles from periodicals: peer-reviewed journals, conference proceedings, collection of scientific papers etc., unpublished papers should not be put on the literature reference list.

The reference sources (not less than 7) must be listed in the references in alphabetical order. First the papers of authors are given in Russian, further in other languages. All the papers of one author should be indexed in ascending order of the years of publishing.

The authors are responsible for the correctness of data given in the literature reference list of the article, as well as for the accuracy of citations, facts, statistical information provided in the manuscript. The literature reference list is printed in the Russian language.

15. Papers which do not conform to the requirements mentioned above shall not be taken for consideration, reviewing and publishing.

16. The article is enclosed with the review (external) of Doctor of Sciences in the author's research field (format jpg). The review should contain: a full title of the article; a position of the article's author, his/her surname, first name and patronymic; a brief description of the article's problem; a degree of relevance of the article; the most significant issues revealed by the author in the article; a recommendation for the article publication; information about the reviewer (science degree, academic rank, position and place of work, surname, first name and patronymic, signature, official stamp).

Review of all scientific articles is provided by the editorial staff. The peer review is carried out by the editors or external reviewers.







