

ISSN 1817–5457



ИжГСХА

ВЕСТНИК

Ижевской государственной
сельскохозяйственной академии

№ 1 (65) 2021



Журнал основан в марте 2004 г. Выходит ежеквартально

Учредитель ФГБОУ ВО «Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия»

Адрес редакции, издательства
и типографии:
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11,
кабинет 514.
E-mail: rio.isa@list.ru

Подписной индекс в объединенном
каталоге «Пресса России» 40567



Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-63611 от 02.11.2015.

Журнал включен в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ),
реферативную базу данных AGRIS.

Ответственность за содержание статей
несут авторы публикаций.

Редактор М. Н. Перевощикова
Верстка А. А. Волкова
Перевод В. Г. Балтачев

Подписано в печать 26.03.2021 г.
Дата выхода в свет 31.03.2021 г.
Формат 60×84/8. Тираж 500 экз.
Заказ № 8186. Цена свободная.

© ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021

ISSN 1817-5457

DOI 10/48012/1817-5457

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

доктор технических наук, доцент *А. А. Брацихин*

Научный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *С. И. Коконов*

Члены редакционного совета:

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

Т. Ю. Бортник – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Т. А. Бабайцева – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

И. Н. Щенникова – доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
член-корреспондент РАН ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

И. Ш. Фатыхов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Л. М. Колбина – доктор сельскохозяйственных наук, доцент УдмФИЦ УрО РАН

Н. А. Балакирев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

С. Д. Батанов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук,
профессор ФГБОУ ВО Уральский ГЛТУ

К. М. Габдрахимов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

С. Н. Пономарев – доктор сельскохозяйственных наук
ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН

Б. Б. Максимов – доктор PhD, Аграрный университет, г. Пловдив, Болгария

Ю. Г. Крысенко – доктор ветеринарных наук, профессор
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

В. А. Ермолаев – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

И. Г. Конопельцев – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Вятская ГСХА

И. Л. Бухарина – доктор биологических наук, профессор ФГБОУ ВО УдГУ

Д. А. Тихомиров – доктор технических наук, член-корреспондент РАН
ГТНБУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Ф. Ф. Мухамадьяров – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Вятская ГСХА

П. В. Дородов – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

А. Г. Левишин – доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

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

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

И. В. Юдаев – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Донской ГАУ

Е. В. Харанжевский – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО УдГУ

О. В. Горелик – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Уральский ГАУ

С. В. Карамеев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

Т. Ф. Персикова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Белорусская ГСХА

К. К. Тулегенов – доктор PhD, Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

Л. А. Садыкова – кандидат технических наук, Западно-Казахстанский
аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

А. Семенов – кандидат PhD, член Европейской Ассоциации ветеринаров диких
и зоопарковых животных Эстонского университета естественных наук (EMÜ),
г. Тарту, Эстония

Н. И. Филиппова – кандидат сельскохозяйственных наук
ТОО НПЦЗХ им. А. И. Бараева

Я. Кмень – профессор, доктор философских наук, Технический университет
в Зволене, Словакия

Journal was founded in March, 2004. Quarterly issued journal

Founder is Federal state budgetary educational institution of higher education (FSBEI HE) *Izhevsk State Agricultural Academy*

Address of publisher, editorial office,
printing house:
426069, Izhevsk, Studencheskaya St., 11,
cabinet 514.
E-mail: rio.isa@list.ru

The subscription index in the integrated
catalogue "Press of Russia" is 40567



Registration certificate PI
№ FS77-63611 dated 02.11.2015.
was issued by Federal Service
in the Sphere of Telecom, Information
Technologies and Mass Communications
(Roskomnadzor).

The journal is included in the database
of the Russian science citation index
and in the international scientific
information database AGRIS

The authors of publications
are responsible for the content of articles.

Editor M. N. Perevoshchikova
Layout A. A. Volkova
Translation V. G. Baltachev

Signed for printing 26 March 2021.
Publication – 31 March 2021.
Format 60×84/8. Printing 500 iss.
Order № 8186. Free price.

© *Izhevsk State Agricultural Academy*,
2021

ISSN 1817-5457
DOI 10/48012/1817-5457

EDITORIAL BOARD

Editor in chief

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor *A. A. Bratsikhin*

Science editor

Doctor of Agricultural Sciences, Professor *S. I. Kokonov*

Members of Editorial Board:

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

T. Yu. Bortnik – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

T. A. Babaytseva – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

I. N. Shchennikova – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, FGBNU

"Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky"

I. Sh. Fatykhov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

L. M. Kolbina – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, UdmFRC UrDRAS

N. A. Balakirev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician
of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine
and Biotechnology named K. I. Skryabin

S. D. Batanov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Ural State Forest Engineering University

K. M. Gabdrakhimov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Bashkir State Agrarian University

S. N. Ponomarev – Doctor of Agricultural Sciences, TatSRIA FRC KazSC RAS

B. B. Maximov – Doctor PhD, Agrarian University of Plovdiv, Bulgaria

Yu. G. Krysenko – Doctor of Veterinary Science, Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

V. A. Ermolaev – Doctor of Veterinary Science, Professor,
Ulyanovsk State Agricultural Academy

I. G. Konopeltsev – Doctor of Veterinary Science, Professor, Vyatka State Agricultural Academy

I. L. Bukharina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Udmurt State University

D. A. Tikhomirov – Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian
Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM

F. F. Mukhamadyarov – Doctor of Technical Sciences,
Professor, Vyatka State Agricultural Academy

P. V. Dorodov – Doctor of Technical Sciences, Professor,
Izhevsk State Agricultural Academy

A. G. Levshin – Doctor of Engineering Science, Professor,
Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev

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

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

I. V. Yudaev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Donskoy State Agrarian University

E. V. Kharanzhevsky – Doctor of Technical Sciences, Professor, Udmurt State University

O. V. Gorelik – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Agrarian University

S. V. Karamaev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Samara State Agricultural Academy

T. F. Persikova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Belarusian State Agricultural Academy

K. K. Tulegenov – Doctor PhD, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical
University, Uralsk, Kazakhstan

L. A. Sadykova – Candidate of Technical Sciences, Zhangir Khan West Kazakhstan
Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan

A. Semenov – Cand. PhD, member of the European Association of Wild and Zoo Animal
Veterinarians Estonian University of Life Sciences (EMÜ), Tartu, Estonia

N. I. Filippova – candidate of agricultural sciences LLC SPCGF named after A. I. Baraev,
Kazakhstan

Ya. Kmen – Professor, engineer, Doctor of Philosophy Technical University in Zvolen,
Slovakia

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

В. А. Чучунов, Е. Б. Радзиевский, Т. В. Коноблей Варроатоз пчел и способы борьбы с ним при ведении органического животноводства	4
О. В. Коробейникова, Т. А. Строт, М. П. Маслова, О. В. Эсенкулова, А. А. Никитин Эффективность обработки семян ячменя регуляторами роста растений	11
Т. Ю. Бортник, А. С. Башков, В. А. Капеев, Б. Б. Борисов Баланс органического вещества и элементов питания в условиях сельскохозяйственного производства на дерново-подзолистых почвах Вятско-Камской земледельческой провинции	21
И. В. Бадретдинова, Е. А. Воронцова, В. В. Касаткин, А. Б. Спиридонов Биологические способы деструкции целлюлозного комплекса льняного волокна	33

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

А. Г. Ипатов Анализ структуры и свойства восстановительных покрытий из порошковых композиций на основе железа	39
А. Г. Ипатов, К. Г. Волков К обоснованию материала защитно-восстановительного покрытия рабочей поверхности тарелки клапана	44
Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов, К. Г. Волков Особенности формирования керамических восстановительных покрытий	51
В. Ф. Первущин, М. З. Салимзянов, Н. Г. Касимов, В. И. Широбоков, И. Ю. Лебедев Теоретические исследования работы грохота картофелекопателя	55
Т. А. Широбокова Разработка экспериментальной установки светодиодного светильника с термоэлектрическим эффектом	62
Т. А. Широбокова, Л. А. Шувалова Расчет конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора	68

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

V. A. Chuchunov, Ye. B. Radzievsky, T. V. Konobley Ways of bee varroa control during running organic animal husbandry	4
O. V. Korobejninkova, T. A. Strot, M. P. Maslova, O. V. Esenkulova, A. A. Nikitin Efficiency of treatment of barley seeds by plant growth regulators in different meteorological	11
T. Yu. Bortnik, A. S. Bashkov, V. A. Kapayev, B. B. Borisov The balance of organic matter and nutrients under the conditions of agricultural production on the sod-podzolic soils in the Vyatka-Kama agricultural province	21
I. V. Badretdinova, Ye. A. Vorontsova, V. V. Kasatkin, A. B. Spiridonov Biological methods of destruction of the flax fiber cellulose complex	33

TECHNICAL SCIENCES

A. G. Ipatov Analysis of the structure and properties of recovering coatings of based-on-iron powder compositions	39
A. G. Ipatov, K. G. Volkov About to substantiate the material for the protective-and-recovering coating of the valve disc working chamfer	44
Ye. V. Kharanzhevsky, A. G. Ipatov, K. G. Volkov Peculiarities of formation of the ceramic recovering coatings	51
V. F. Pervushin, M. Z. Salimzyanov, N. G. Kasimov, V. I. Shirobokov, I. Yu. Lebedev Theoretical studies of the potato digger screen operation	55
T. A. Shirobokova Development of an experimental setup for a LED lamp with thermoelectric effect	62
T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova Calculation of the design parameters of the LED lighting device	68

В. А. Чучунов, Е. Б. Радзиевский, Т. В. Коноблей

ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет

ВАРРОАТОЗ ПЧЕЛ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМ ПРИ ВЕДЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Целью наших исследований явилась оценка эффективности применения муравьиной кислоты в качестве противопаразитарного препарата, действующего на клеща варроа, и определение возможности ее использования при ведении органического пчеловодства. Нами были проведены исследования на кочевых пасеках города Волгограда (пасека № 1), Ольховского (пасека № 2) и Дубовского (пасека № 3) районов Волгоградской области. Нами после главного взятка (конец июля, начало августа) перед началом подготовки пчелиных семей к зимовке при сокращении гнезда были сформированы методом пар-аналогов по пять опытных и контрольных семей на каждой из пасек. В опытных группах двукратно с интервалом в две недели были проведены противопаразитарные мероприятия с применением геля, содержащего 85 % муравьиной кислоты. Гель находился в пакетиках массой 30 г и из расчета 1 пакетик на семью, раскладывался поверх рамок под холстик. В ходе эксперимента установлено, что лечебные мероприятия, проводимые в опытных группах, дали положительный эффект. На всех пасеках в тех группах, где использовали муравьиную кислоту, количество клеща снизилось на 14,3–28,2 % и не превышало 3,8 %, в то же самое время в контрольных группах количество клеща увеличилось. Лечебные мероприятия положительно повлияли на зимовку пчел, отход в опытных группах не превышал 8,3 % пчел, при этом в контрольных семьях отход пчел был не ниже 18,8 %, кроме того отмечаем, что на двух пасеках погибло по одной семье в контрольных группах. Медовая продуктивность в конечном итоге также была выше в опытных группах, так, показатель «Получено всего меда» в опытных группах был не ниже 27,42 кг, а в контрольных группах он не превышал 17,9 кг с семьи. Уровень рентабельности также был наивысший в опытных группах и составил от 60,62 % на пасеке № 3 до 40,87 на пасеке № 2, в то время как в контрольных семьях данный показатель не превышал 24,47 %.

Ключевые слова: органическое животноводство; пчела медоносная; клещ варроа-якобсони; муравьиная кислота; лечение; профилактика; продуктивность.

Введение. Впервые в литературных источниках данные о том, что на теле медоносной пчелы обнаруживается паразитирующий клещ, появились в 1958 г. в результате обследования пчел, разводимых на юге Китая. А уже спустя 6 лет клещ Варроа стал появляться и в нашей стране, паразитируя на медоносных пчелах, обитающих в Приморском крае. Затем паразит распространился на территорию Азии и в Европу, а впоследствии охватил и весь мир. Вследствие своего глобального распространения и достаточно высокого ущерба, наносимого данным заболеванием пчеловодческой отрасли, его нельзя сопоставить ни с какими другими болезнями, встречающимися у пчёл. Уже начиная с 90-х годов двадцатого столетия, каждую из пасек, которые находились на территории Российской Федерации, можно было условно подозревать в поражении клещом Варроа в той или иной мере [2, 4, 5, 7].

Острая проблема в пчеловодстве на протяжении десятка лет – это эффективность противоварроатозных мероприятий. С принятием ГОСТ Р 57022-2016 «Национальный стан-

дарт Российской Федерации о порядке проведения добровольной сертификации органического производства», а также ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации» для повышения конкурентоспособности меда и другой пчеловодческой продукции необходимо соответствовать требованиям ведения органического животноводства. Перечень лекарственных и профилактических средств, которые могут использоваться при ведении производства, относящегося к органическому, достаточно ограничен. Стандартом ГОСТ 33980-2016 допускается использование при производстве органической продукции муравьиной кислоты (Е 236) в качестве консерванта при силосовании кормов, а также как вещество, которое можно применять для дезинфекции и очистки помещений, оборудования в животноводческом органическом производстве [14, 15].

По ряду исследований установлено, что применяемые для лечения варроатоза химические средства предусматривают обработку пчелосе-

мей веществами химической природы, которые воздействуют на паразита, приводя к осыпанию клещей, либо к его гибели. Из классических химических веществ, которые применяют в борьбе с паразитами, наиболее эффективным средством считается проведение обработок семей парами муравьиной, щавелевой или же молочной кислот, а кроме того тимолом. Во время применения данных химических веществ под их влияние попадают только те паразиты, которые в данный конкретный момент обработки присутствовали на хитиновом покрове пчелы медоносной. При этом негативным фактором, по опыту ряда авторов, является использование химических препаратов для лечения варроатоза, которые угнетают репродуктивные органы пчелиных маток [1, 3, 6, 8].

Клещ Варроа-Якобсони, который паразитирует, находясь на хитиновом покрове тела медоносной пчелы или же закрытого расплода, использует в качестве пищи гемолимфу «хозяина», при этом ослабляет его и, открывая ворота вторичной инфекции, делает его более восприимчивым к сопутствующим заболеваниям [5, 9]. Кроме того, гемолимфа насекомых, в отличие от крови млекопитающих, не имеет тромбоцитов, и раненое насекомое, даже если клещ осыпался, слабеет вследствие её потери.

Клещи, паразитирующие на пчелах, хотя и не имеют органов зрения, но в поиске своих жертв используют терморцепторы, а также органы обоняния. К телу пчелы они прикрепляются посредством присосок, находящихся на лапках паразитов. Применяемые для лечения варроатоза кислоты, воздействуя на присоски на лапах паразита, препятствуют прикреплению клеща к хитиновому покрову пчелы. Кроме того, используемые химические средства не могут, в отличие от других лекарственных препаратов, вызывать привыкание у паразита [10, 12].

Основными признаками, по которым можно диагностировать данное заболевание в условиях пасеки, – это выявление вокруг улья, и особенно в районе летка, пчёл с дефектами развития (рудиментарные и искривлённые крылья или их отсутствие), в более тяжелом случае течения болезни появляются пчелы без лапок. Если производить профилактический осмотр пчел, то в пораженных семьях можно обнаружить у некоторых пчел в районе брюшка или же груди шириной 1,8 мм и длиной 1,1 мм округлой формы коричневого цвета половозрелых самок клеща. Зараженность семей пара-

зитами определяется следующими степенями поражения: 1 степень – сильная заклещёванность поражения клещами свыше 21 %, 2 степень – средняя заклещёванность, когда поражение составляет от 11 до 20 %, и 3 степень – слабая, составляет до 10 %, то есть из 100 пчел, взятых для исследования, пораженными оказываются от 0 до 10 пчёл [11, 13]. Однако, по наблюдениям многих авторов, допустимым процентом заклещёванности семьи пчел, который не препятствует развитию и проявлению продуктивных качеств, считается уровень, не превышающий 4 %.

Исследованиями ряда авторов в этом направлении отмечается, что при условии даже тщательно проведённых лечебно-профилактических мероприятий полностью избавиться от данного паразита не представляется возможным вследствие биологических особенностей клеща и перекрёстного заражения от других насекомых во время сбора пыльцы и нектара [6, 7, 10]. Поэтому все проводимые лечебно-оздоровительные мероприятия позволяют только на некоторое время сократить уровень заклещёванности пчелиных семей до так называемого условно-безопасного уровня.

Цель и задачи исследования – оценить эффективность применения муравьиной кислоты в качестве противопаразитарного препарата, воздействующего на клеща варроа, и оценить возможность ее использования при ведении органического пчеловодства.

Условия, материалы и методы исследования. Для выявления влияния муравьиной кислоты в качестве препарата, используемого при лечении варроатоза в органическом животноводстве, нами были проведены исследования на кочевых пасеках города Волгограда (пасека № 1), Ольховского (пасека № 2) и Дубовского (пасека № 3) районов Волгоградской области. Нами после главного взятка (конец июля, начало августа) перед началом подготовки пчелиных семей к зимовке при сокращении гнезда были сформированы методом пар-аналогов по пять опытных и контрольных семей на каждой из пасек. В опытных группах двукратно с интервалом в две недели были проведены противопаразитарные мероприятия с применением геля, содержащим 85 % муравьиной кислоты. Гель находился в пакетиках массой 30 г и из расчета один пакетик на семью раскладывался поверх рамок под холстик.

Перед проведением наших исследований и через неделю после повторного применения препарата из семей, отобранных по принципу

пар-аналогов, из центра гнезда отбирали пробы, состоящие из нескольких десятков живых пчел, с целью определения степени заклещёванности. После чего выборку заливали растворителем, а затем после тщательного перемешивания и отстаивания отделяли от мертвых пчёл, мёртвых клещей, а затем производили количественный подсчет тех и других и находили процентное соотношение, определяя при этом, насколько семьи заклещёваны.

Схема проводимых нами исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта

№ п-секи	Группа	Препарат	Количество семей
1	опытная	муравьиная кислота	5
	контрольная	–	5
2	опытная	муравьиная кислота	5
	контрольная	–	5
3	опытная	муравьиная кислота	5
	контрольная	–	5

В соответствии с представленной выше схемой наших исследований, опытные семьи обрабатывались двукратно, посредством внесения в гнездо 85 % муравьиной кислоты, которая

была в форме геля, заключенного в 30-граммовые пакетики.

Результаты исследования. Результаты проведенных нами исследований представлены в таблице 2.

Обследуя пасеки после главного взятка на поражение их клещом Варроа-Якобсони, установили, что наивысшее количество клеща было на пасеке № 2 в контрольной группе и составило 32,7 %, а наименьшее – на пасеке № 1 с показателем 20,4 % в контрольной группе. То есть в соответствии со шкалой оценки поражения клещом во всех пчелиных семьях отмечалась сильная заклещёванность. Проводя оценку по степени заклещёванности семей пчел после применения нами муравьиной кислоты и без ее применения в контрольных ульях отмечаем, что, в тех семьях, в которых двукратно применяли муравьиную кислоту, удалось снизить количества клеща на пасеках № 1, 2, 3 на 14,3 %, 25,1 % и 28,2 % соответственно. При этом уровень заклещёванности в этих семьях составил от 2,5 на пасеке под № 3 до 3,8 на пасеке под № 1. В то же время в контрольных группах пчелиных семей наблюдалась тенденция роста количества клеща, так, в семье № 1 увеличение составило 3,8 % и достигло 24,2 %, в семье № 2 увеличение составило 6,8 % и достигло 39,5 %, и в семье № 3 увеличение составило 5,2 % и достигло 32,5 %. Применение муравьиной кислоты в качестве лекарственного средства при варроатозе даёт заметный положительный эффект.

Таблица 2 – Сравнительная оценка заклещёванности семей при использовании муравьиной кислоты (n = 5)

№ пасеки	До обработки препаратами (в опытных группах)			После обработки препаратами (в опытных группах)		
	Кол-во пчел в пробе	Кол-во осыпавшегося клеща	% заклещёванности	Кол-во пчел в пробе	Кол-во осыпавшегося клеща	% заклещёванности
Пасека № 1	Опытная группа					
	85,4 ± 4,33	18,8 ± 2,05	21,9	95,6 ± 3,06	3,6 ± 0,4	3,8
	Контрольная группа					
	91 ± 1,24	18,6 ± 0,55	20,4	93,6 ± 0,94	23,2 ± 0,74	24,2
Пасека № 2	Опытная группа					
	83,6 ± 3,46	24 ± 1,92	28,8	85,8 ± 3,77	3,2 ± 0,2	3,7
	Контрольная группа					
	97,8 ± 1,07	31,8 ± 0,48	32,7	98,4 ± 0,79	38,8 ± 0,49	39,5
Пасека № 3	Опытная группа					
	91,2 ± 4,63	27,8 ± 1,36	30,7	95,2 ± 4,59	2,4 ± 0,24	2,5
	Контрольная группа					
	92,2 ± 0,57	25,2 ± 0,38	27,3	91,6 ± 1,19	29,8 ± 0,32	32,5

После лечения в конце августа и сентябре пчелы закармливались в зиму 50 % сахарным сиропом до 16 л на семью. В ноябре были удалены крайние рамки, не занятые пчелами, и гнездо с обеих сторон было сжато диафрагмами сверху, кроме холстика никакого утепления гнезда не производили. Зимовка пчел осуществлялась в деревянных ульях Дадана-Блата на улице, при этом клуб пчел в семьях располагался на 6–8 дадановских рамках. Показатели зимовки пчел представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка зимовки пчел

№ пасеки	Группа	Количество рамок с пчелами, пошедшими на зимовку	Количество рамок с пчелами, вышедшими с зимовки	% отхода
1	Опытная	7,6 ± 0,24	7 ± 0,32	7,9
	Контрольная	7,4 ± 0,24	5,75 ± 0,19	22,3
2	Опытная	7,2 ± 0,12	6,6 ± 0,4	8,3
	Контрольная	7 ± 0,1	5,6 ± 0,24	20
3	Опытная	8,2 ± 0,37	7,6 ± 0,08	7,3
	Контрольная	8 ± 0,32	6,5 ± 0,06	18,8

Оценивая показатели подготовки пчел к зимовке, отмечали, что в зиму на всех пасеках пчелы сформировали достаточно хорошие клубы, которые размещались на 6–8 рамках, при том, что на пасеке № 3 было несколько семей, занимавших 9 рамок.

При оценке результатов зимовки нами отмечалось, что контрольные семьи, в которых не производили какие-либо противоварроатозные обработки, перезимовали гораздо хуже тех семей, в которых применялась в качестве противоварроатозного средства муравьиная кислота.

Количество осыпавшихся пчел в контрольных группах составило от 18,8 % на пасеке № 3 до 22,3 % на пасеке № 1. Кроме того, на пасеках 1 и 3 в контрольных группах произошла гибель по одной семье, и наблюдались следы массового поноса, весенний облет пчел был недружный и растянут по времени. В то время как в опытных группах все семьи благополучно пережили экстремальный зимний пери-

од, потери пчел составили в среднем от 7,3 % до 8,3 % на пасеках 3 и 2 соответственно, и в некоторых семьях отмечались единичные следы поноса, весенний облет был дружный.

В конце мая перед выездом кочевых пасек на медосбор мы также оценили семьи, участвующие в опыте по степени заклещёванности. Данные проведенных исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Весенняя оценка пчелиных семей на заклещёванность

№ пасеки	Кол-во пчел в пробе	Кол-во осыпавшегося клеща	% заклещёванности
Пасека № 1	Опытная группа		
	96,8 ± 3,09	7 ± 0,71	7,2
	Контрольная группа		
	90,2 ± 0,59	23,2 ± 0,74	25,72
Пасека № 2	Опытная группа		
	98,6 ± 1,66	8,4 ± 0,75	8,52
	Контрольная группа		
	94,5 ± 7,1	43,5 ± 3,31	46,03
Пасека № 3	Опытная группа		
	95,2 ± 4,59	9,4 ± 1,36	9,87
	Контрольная группа		
	101 ± 7,52	49 ± 3,64	48,51

По данным таблицы 4 видно, что в опытных группах, где осенью проводили противоварроатозные обработки, количество клеща не превышало 10 % (3 степень – слабая заклещёванность), что составило от 7,2 % на пасеке № 1 до 9,87 % на пасеке № 3. В то время как в контрольных пчелиных семьях % заклещёванности был выше – 21 %, то есть 1 степень (сильная заклещёванность), и составил от 25,72 % на пасеке № 1 до 48,51 % – на пасеке № 3. При таком поражении клещами, если не принять экстренных оздоровительных мероприятий, возможна гибель контрольных семей. Следует также отметить более слабое весеннее развитие семей контрольных групп, по сравнению с семьями опытных групп.

В конце сезона после главного взятка была проведена сравнительная оценка медовой продуктивности семей, подвергнутых осенью предыдущего года лечебным мероприятиям с семьями, в которых противоварроатозные мероприятия не проводили.

Данные о продуктивности семей представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Оценка медовой продуктивности пчел

№ пасеки	Группа	Количество соторамок с медом, шт	Получено всего меда, кг	В том числе товарного меда, кг
1	опытная	11,4 ± 0,6	34,88 ± 2,04	23,58 ± 1,091
	контрольная	4,5 ± 0,22	13,7 ± 0,72	5,98 ± 0,59
2	опытная	8,6 ± 0,68	27,42 ± 2,07	15,42 ± 1,85
	контрольная	5 ± 0,31	14,2 ± 0,86	6,46 ± 0,67
3	опытная	11,6 ± 1,08	36,68 ± 0,97	24,26 ± 0,9
	контрольная	6,25 ± 0,16	17,9 ± 0,55	8,33 ± 0,34

Изучив показатели медовой продуктивности семей, отмечали, что разница по полученному валовому меду между контрольными и опытными группами составляла 21,18 кг, 13,22 кг и 18,78 кг соответственно пасекам № 1, № 2 и № 3. Наибольшее количество товарного меда было получено в опытных группах, количество меда в которых колебалось в среднем от 15,42 кг на пасеке № 2 до 24,26 кг на пасеке № 3. В то время как в контрольных группах товарного меда удалось собрать в среднем только от 5,98 кг на пасеке № 1 до 8,33 кг на пасеке № 3.

Экономическая эффективность производства меда представлена в таблице 6.

Выводы. Исследования, проведенные нами на кочевых пасеках Волгоградской области с целью установления целесообразности использования муравьиной кислоты при лечении варроатоза пчел, могут быть использована при ведении органического животноводства. В ходе эксперимента установлено, что лечебные мероприятия, проводимые в опытных группах, дали положительный эффект. На всех пасеках в тех группах, где использовали муравьиную кислоту, количество клеща снизилось на 14,3–28,2 % и не превышало 3,8 %, в то же время в контрольных группах количество клеща увеличилось.

Таблица 6 – Экономическая эффективность производства меда

Показатели	№ пасеки					
	1		2		3	
	опытная	контрольная	опытная	контрольная	опытная	контрольная
Цена реализации за кг	350	350	350	350	350	350
Полные издержки, руб.	225,4	325,0	246,7	281,2	217,9	337,4
Прибыль на 1 кг, руб.	124,6	25	103,3	68,8	132,1	12,6
Получено товарного меда с 1 семьи, кг	23,58	5,98	15,42	6,46	24,26	8,33
Прибыль в расчете на 1 семью	2938,07	149,5	1592,89	444,45	3204,75	104,96
Уровень рентабельности, %	55,28	7,69	41,87	24,47	60,62	3,73

Данные сравнительной экономической эффективности производства меда показывают, что в семьях, где проводились потивоварроатозные мероприятия, в расчете на одну семью было получено больше товарного меда, при том, что полные издержки были значительно меньшими.

Это нашло отражение в большей прибыли, которая была получена в расчете на одну семью. Оценивая уровень рентабельности, также отмечалось, что в семьях, где проводили обработку, он был наивысший и составил от 60,62 % на пасеке № 3 до 40,87 на пасеке № 2, в то время как в контрольных семьях он не превышал 24,47 %.

Лечебные мероприятия положительно повлияли на зимовку пчел, отход в опытных группах не превышал 8,3 % пчел, при этом в контрольных семьях отход был не ниже 18,8 %, кроме того отмечаем, что на двух пасеках погибло по одной семье в контрольных группах. Медовая продуктивность в конечном итоге также была выше в опытных группах, так, показатель «Получено всего меда» в опытных группах был не ниже 27,42 кг, а в контрольных группах он не превышал 17,9 кг с семьи. Уровень рентабельности был наивысший в опытных группах и составил от 60,62 % на пасеке № 3 до 40,87 % – на пасеке № 2, в то время как в контрольных семьях данный показатель не превышал 24,47 %.

Список литературы

1. Землянкина, Ж. А. Эффективность ветеринарных препаратов в профилактике и лечении варроатоза пчел / Ж. А. Землянкина [и др.] // Пчеловодство. – 2019. – № 2. – С. 24–26.
2. Ивойлова, М. М. Критерии резистентности медоносных пчел к *Varroa destructor* / М. М. Ивойлова, А. З. Брандорф, А. А. Семакина // Пчеловодство. – 2017. – № 7. – С. 20–23.
3. Масленникова, В. И. Оценка влияния вирусной и клещевой нагрузки на гибель пчел / В. И. Масленникова [и др.] // Пчеловодство. – 2017. – № 5. – С. 28–30.
4. Масленникова, В. И. Вирусная и клещевая нагрузки на пчелиные семьи в Ростовской области / В. И. Масленникова [и др.] // Пчеловодство. – 2019. – № 5. – С. 20–33.
5. Морева, Л. Я. Хронический паралич пчел и роль клеща варроа в его распространении / Л. Я. Морева, А. А. Мойся // Пчеловодство. – 2018. – № 5. – С. 22–24.
6. Сохликов, А. Б. Борьба с варроатозом / А. Б. Сохликов, Г. И. Игнатьева // Пчеловодство. – 2018. – № 3. – С. 30–33.
7. Спрыгин, А. В. Угрозы распространения вирусных инфекций у пчел (*Apis mellifera* L.) и роль клеща *Varroa destructor* в развитии патологий / А. В. Спрыгин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 2. – С. 156–171.
8. Чучунов, В. А. Борьба с клещом Варроа-Якобсони на пасеках Волгоградской области / В. А. Чучунов, Е. Б. Радзиевский, В. А. Злепкин, Т. В. Коноблей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (57). – С. 213–219.
9. Чучунов, В. А. Меры борьбы с клещом Варроа-Якобсони на пасеках Волгоградской области / В. А. Чучунов, Е. Б. Радзиевский, В. А. Злепкин, Т. В. Коноблей // Научно-практическая конференция, проведенная в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. – Т. 2. – С. 199–203.
10. Юмагузин, Ф. Г. Варроатоз в семьях бурзянских бортевых пчел / Ф. Г. Юмагузин // Пчеловодство. – 2014. – № 5. – С. 32–33.
11. Kashkovskii, V. G. Ecology and Biological Resources of Melliferous Plants in the Vasyugan Plain and their Importance for the Arctic Belt / V. G. Kashkovskii [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 7. – № 4.38. – p. 235–238.
12. Kashkovskii, V. G. Ecology and Biological Resources of Melliferous Plants in the Vasyugan Plain and their Importance for the Arctic Belt / V. G. Kashkovskii, A. A. Plakhova, I. V. Moruzi, V. S. Tokarev, D. V. Kropachev // International Journal of Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 7. – № 4.38. – p. 235–238.
13. Van der Steen, J. J. Assessment of the Potential of Honeybees (*Apis mellifera* L.) in Biomonitoring of Air Pollution by Cadmium, Lead and Vanadium / J. J. Van der Steen, J. de Kraker, T. Grotenhuis // Journal of Environmental Protection. – 2015. – № 6. – P. 96–102.
14. ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации (с поправкой).
15. ГОСТ Р 57022-2016. Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства.

Spisok literatury

1. Zemlyankina, Zh. A. Effektivnost' veterinarnykh preparatov v profilaktike i lechenii varroatoza pchel / Zh. A. Zemlyankina [i dr.] // Pchelovodstvo. – 2019. – № 2. – S. 24–26.
2. Ivojlova, M. M. Kriterii rezistentnosti medonosnykh pchel k *Varroa destructor* / M. M. Ivojlova, A. Z. Brandorf, A. A. Semakina // Pchelovodstvo. – 2017. – № 7. – S. 20–23.
3. Maslennikova, V. I. Ocenka vliyaniya virusnoj i kleshchevoj nagruzki na gibel' pchel / V. I. Maslennikova [i dr.] // Pchelovodstvo. – 2017. – № 5. – S. 28–30.
4. Maslennikova, V. I. Virusnaya i kleshchevaya nagruzki na pchelinye sem'i v Rostovskoj oblasti / V. I. Maslennikova [i dr.] // Pchelovodstvo. – 2019. – № 5. – S. 20–33.
5. Moreva, L. YA. Hronicheskij paralich pchel i rol' kleshcha varroa v ego rasprostranении / L. YA. Moreva, A. A. Mojsya // Pchelovodstvo. – 2018. – № 5. – S. 22–24.
6. Sohlikov, A. B. Bor'ba s varroatozom / A. B. Sohlikov, G. I. Ignat'eva // Pchelovodstvo. – 2018. – № 3. – S. 30–33.
7. Sprygin, A. V. Ugrozy rasprostraneniya virusnykh infekcij u pchel (*Apis mellifera* L.) i rol' kleshcha *Varroa destructor* v razvitii patologij / A. V. Sprygin [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2016. – T. 51. – № 2. – S. 156–171.
8. Chuchunov, V. A. Bor'ba s kleshchom Varroa-Yakobsoni na pasekah Volgogradskoj oblasti / V. A. Chuchunov, E. B. Radzievskij, V. A. Zlepkina, T. V. Konoblej // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2020. – № 1 (57). – S. 213–219.
9. Chuchunov, V. A. Mery bor'by s kleshchom Varroa-Yakobsoni na pasekah Volgogradskoj oblasti / V. A. Chuchunov, E. B. Radzievskij, V. A. Zlepkina, T. V. Konoblej // Nauchno-prakticheskaya konferenciya, provedennaya v ramkah Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoj Otechestvennoj vojne 1941–1945 gg. – T. 2. – S. 199–203.
10. YUmaguzhin, F. G. Varroatoz v sem'yah burzyanskykh bortevykh pchel / F. G. YUmaguzhin // Pchelovodstvo. – 2014. – № 5. – S. 32–33.
11. Kashkovskii, V. G. Ecology and Biological Resources of Melliferous Plants in the Vasyugan

Plain and their Importance for the Arctic Belt / V. G. Kashkovskii [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 7. – № 4.38. – p. 235–238.

12. Kashkovskii, V. G. Ecology and Biological Resources of Melliferous Plants in the Vasyugan Plain and their Importance for the Arctic Belt / V. G. Kashkovskii, A. A. Plakhova, I. V. Moruzi, V. S. Tokarev, D. V. Kropachev // International Journal of Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 7. – № 4.38. – p. 235–238.

13. Van der Steen, J. J. Assessment of the Potential of Honeybees (*Apis mellifera* L.) in Biomonitoring of Air Pollution by Cadmium, Lead and Vanadium / J. J. Van der Steen, J. de Kraker, T. Grotenhuis // Journal of Environmental Protection. – 2015. – № 6. – P. 96–102.

14. GOST 33980-2016. Produkciya organicheskogo proizvodstva. Pravila proizvodstva, pererabotki, markirovki i realizacii (s popravkoj).

15. GOST R 57022-2016. Produkciya organicheskogo proizvodstva. Poryadok provedeniya dobrovol'noj sertifikacii organicheskogo proizvodstva.

Сведения об авторах:

Чучунов Василий Александрович – кандидат биологических наук, доцент кафедры частной зоотехнии, Волгоградский государственный аграрный университет (400062, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Звонкая, 26, e-mail: chuchunov.78@mail.ru).

Радзиевский Евгений Борисович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии, Волгоградский государственный аграрный университет (400062, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Звонкая, 26, e-mail: yenia79@mail.ru).

Коноблей Татьяна Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии, Волгоградский государственный аграрный университет (400062, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Звонкая, 26, e-mail: oziola@mail.ru).

V. A. Chuchunov, Ye. B. Radzievsky, T. V. Konobley
Volgograd State Agrarian University

WAYS OF BEE VARROATOSIS CONTROL DURING RUNNING ORGANIC ANIMAL HUSBANDRY

The aim of our research was to evaluate the effective use of the formic acid as an antivarroa mite drug, and to determine the possibility of its implementation in the management of organic beekeeping. Researches were conducted on nomadic apiaries of the city of Volgograd (apiary № 1), Olkhovsky (apiary № 2) and Dubovsky (apiary № 3) districts of the Volgograd Region. After the main bribe (the end of July, the beginning of August), each of the apiaries was supplied with 5 newly formed experimental and control bee families principled as analogue-pairs before to reduce the nest and to start preparation for wintering. In the experimental groups, antiparasitic measures were carried out twice with the two-week intervals using a gel containing 85 % of formic acid. The gel was packaged, each bag weighing 30 g, 1 bag per a family and canvassed on the top of the frames. In the run of the experiment, it was found that the therapeutic measures taken in the experimental bee groups had had a positive effect. In all apiaries in the groups with formic acid used, the number of mites had decreased by 14.3–28.2 %, and did not exceed 3.8 %, while in the control groups the number of mites had increased. Thus, therapeutic measures had positively affected the bees' wintering. The leave-taking of the bees in the experimental groups did not exceed 8.3 % while in the control families it was much bigger – 18.8 %. Besides, it should be noted that at 2 apiaries 1 bee family per a control group had died. Honey lay put in the end was also higher in the experimental groups since the figuring indicator "obtained honey TTL" in the experimental groups was not lower than 27.42 kg whereas in the control groups it did not exceed 17.9 kg per family. The level of profitability was also the highest in the experimental groups and ranged from 60.62 % in apiary № 3 to 40.87 % in apiary № 2 whereas in the control bee families this indicator did not exceed 24.47 %.

Key words: organic animal husbandry; honeybee; varroa-jacobsoni mite; formic acid, treatment, prevention, productivity.

Authors:

Chuchunov Vasily Aleksandrovich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Private Animal Science, Volgograd State Agrarian University (26, Zvonkaya St., Volgograd, 400062, Volgograd Oblast, Russian Federation, e-mail: chuchunov.78@mail.ru).

Radzievsky Yevgeny Borisovich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Private Animal Science, Volgograd State Agrarian University (26, Zvonkaya St., Volgograd, 400062, Volgograd Oblast, Russian Federation, e-mail: yenia79@mail.ru).

Konobley Tatyana Viktorovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Private Animal Science, Volgograd State Agrarian University (26, Zvonkaya St., Volgograd, 400062, Volgograd Oblast, Russian Federation, e-mail: oziola@mail.ru).

О. В. Коробейникова, Т. А. Строт, М. П. Маслова,
О. В. Эсенкулова, А. А. Никитин

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА РАСТЕНИЙ

Предпосевная обработка семян регуляторами роста растений считается экологически чистым и экономически выгодным способом повышения урожайности культур, позволяющим наиболее полно реализовать возможности растительного организма, повысить устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. Исследования по изучению влияния обработки семян ячменя регуляторами роста растений в вегетационные периоды с различными метеорологическими условиями проводились на территории Среднего Предуралья в пределах южно-таежной подзоны таежно-лесной зоны в южном агроклиматическом районе Удмуртской Республики на опытном поле ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. Цель исследований – анализ эффективности регуляторов роста растений, обладающих иммунизирующим эффектом и позволяющих усилить адаптивный потенциал растений к действию неблагоприятных факторов среды и инфекционным заболеваниям при обработке семян ячменя, а также их влияние на урожайность культуры. Для достижения цели определены следующие задачи: выявить развитие и распространенность болезней в период вегетации, определить влияние регуляторов роста растений на биологическую урожайность ячменя. Проводилась предпосевная обработка ячменя сорта Раушан. Изучались регуляторы роста растений: Эпин-Экстра, Р, Новосил, ВЭ, Иммуноцитофит, ТАБ. В годы исследований существенное снижение развития корневой гнили в фазу кущения отмечено при применении Новосила, а в среднем по регуляторам роста развитие болезни было на уровне экономического порога вредоносности. Распространенность корневой гнили в фазу кущения не изменялась под действием регуляторов роста. Исследуемые регуляторы роста растений, применяемые на семенах, были малоэффективны против гельминтоспориозных пятнистостей. Увеличение урожайности под влиянием Новосила и Иммуноцитофита отмечено в 4 года из 7 исследуемых лет, различных по метеорологическим условиям. Регулятор роста Иммуноцитофит способствовал существенному повышению биологической урожайности культуры на 43 г/м^2 при $\text{НСП}_{05} = 42 \text{ г/м}^2$.

Ключевые слова: ячмень; регуляторы роста растений; Эпин-Экстра; Новосил; Иммуноцитофит; корневая гниль; гельминтоспориозы листьев; урожайность.

Актуальность. Ячмень относится к числу основных зерновых культур в мире. Среди причин, оказывающих отрицательное влияние на его продуктивность, особое значение имеют биотические и абиотические стрессы. Неблагоприятные абиотические факторы окружающей среды ослабляют растения и приводят к поражению микроорганизмами. Разработка приёмов повышения устойчивости растений к стрессам имеет важное значение для всего мирового сельского хозяйства [24, 31].

В защите растений от различных стрессов все большее значение приобретают биологические методы. В связи с многолетним применением химических средств защиты растений, приведшим к ухудшению экологической обстановки, регуляторы роста и биопрепараты становятся необходимым элементом в технологии выращивания сельскохозяйственных культур, снижая воздействие стрессов и повышая иммунитет растений. Биологические препараты и регуляторы роста способны стимулировать иммунную систему и индуцировать неспецифическую устойчивость растений к болезням

[16, 17, 19, 25]. Среди механизмов повышения устойчивости растений к стрессам выступает накопление в клетках аминокислоты пролина и повышение активности различных оксидаз, в том числе пероксидазы [23, 27, 33, 35].

Механизмы индукции резистентности к стрессам связаны как с системно индуцированной (induced systemic resistance – ISR), так и системно приобретенной (systemic acquired resistance – SAR) устойчивостью. Элиситерами (elicitors) в запуске реакций устойчивости к стрессам выступают липосахариды, летучие соединения, салицидаты, циклический белок сиринголин, антибиотики [32, 36]. Применение биопрепаратов и регуляторов роста растений способствует значительному снижению развития различных болезней и повышению урожайности сельскохозяйственных культур [28, 29, 30]. Эффективность регуляторов роста растений на пораженность болезнями и урожайность яровых зерновых культур изучалась в ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА с 2011 по 2017 гг. [6, 8–13, 18].

Цель исследований – анализ эффективности регуляторов роста растений, обладаю-

ших иммунизирующим эффектом и позволяющих усилить адаптивный потенциал растений к действию неблагоприятных факторов среды и инфекционным заболеваниям при обработке семян ячменя, а также их влияние на урожайность культуры.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили на территории Воткинского района Удмуртской Республики на опытном поле ФГБОУ ВО Ижевской ГСХА. Участок агроландшафта относительно ровный, местами имеет слабоволнистый характер. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая со следующими показателями: содержание гумуса в пахотном горизонте среднее (2,72–2,94 %), реакция почвенной среды от среднекислой до близкой к нейтральной ($pH_{КС1} = 4,6–5,8$). Содержание подвижного фосфора и обменного калия высокое и очень высокое ($P_2O_5 = 237–300$ мг/кг, $K_2O = 212–446$ мг/кг почвы).

Полевой опыт заложен методом организованных повторений, в четырехкратной повторности, площадь делянки 40 м².

Изучались регуляторы роста растений: Эпин-Экстра, Новосил, Имуноцитифит. Исследуемые препараты применялись в виде обработки семян перед посевом с нормой расхода, рекомендуемой «Списком пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории Российской Федерации» в исследуемые годы: Эпин-Экстра, Р – 200 мл/т; Новосил, ВЭ – 50 мл/т; Имуноцитифит, ТАБ – 62,5 г/т. Расход рабочей жидкости 10 л/т.

Эпин-Экстра – антистрессовый препарат, благодаря которому растительные культуры гораздо легче переживают такие природные явления, как засухи, ливни, заморозки и перепады температур. Препаративная форма – раствор, действующее вещество: 24-эпибрасинолид; содержание действующего вещества 0,025 г/л; химический класс: растительный гормон; способ проникновения – контактный; характер действия – системный, профилактический. Брасиностероиды – фитогормоны класса стероидов, поддерживающие нормальное функционирование иммунной системы растения. Первый представитель этого класса, брасинолид, был выделен американскими учеными в 1979 г. из пыльцы *Brassica napus* L. К настоящему времени из различных растительных источников выделено более 40 брасиностероидов. Эпин-Экстра является эффективным иммуномодулятором, увеличивает устойчивость растений к стрессам и фитопатогенам. Эпибрасинолид действует опосредованно через гормональную систему, влияет на активность и биосинтез ферментов окислительного цикла, гидроксилитических ферментов (протеаз), оказывает разностороннее влияние на растение: усиливает прорастание семян и рост растений, повышает устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, увеличивает урожай и улучшает его [2, 5, 22].

Новосил – природный регулятор роста и развития растений, обладает широким комплексом полезных свойств, оказывает на растения росторегулирующее, фунгицидное действие. Препаративная форма – водная эмульсия; действующее вещество – тритерпеновые кислоты; содержание действующего вещества 100 г/л. Химический класс – иммуномодуляторы; способ проникновения – контактный; характер действия – системный, лечебный, профилактический. Действующее вещество Новосила – тритерпеновые кислоты, получаемые из экстракта древесной зелени пихты сибирской. Природный регулятор роста с широким спектром росторегулирующего и фунгицидного действия. При воздействии на растение происходит повышение генов стрессоустойчивости. Препарат предназначен для обработки семян перед посевом и опрыскивания сельскохозяйственных культур в период вегетации с целью увеличения урожайности, энергии прорастания семян; жизнеспособности растений в экстремальных климатических условиях (засуха, заморозки и пр.); улучшения качества семян; сокращения заболеваемости растений грибными, бактериальными и вирусными болезнями [20].

Имуноцитифит активизирует ферменты растений, и вследствие этого происходит усиление естественной устойчивости к поражению болезнями и ростовых процессов растений. Препаративная форма – таблетки; действующее вещество – этиловый эфир арахидоновой кислоты; содержание действующего вещества 20 г/кг; химический класс – органические соединения полиненасыщенных жирных кислот; способ проникновения – контактный; характер действия – профилактический. Механизм действия основан на формировании у растений неспецифической системной устойчивости и активизации ростовых и биологических процессов. На молекулярном уровне широкий спектр биологической активности арахидоновой кислоты объясняется тем, что она и её метаболиты активируют не только гены устойчивости и сигнальные системы защиты, но и гены, осуществляющие контроль над ростовыми факторами и фитогормонами [15, 21].

Опытное поле ФГБОУ ВО Ижевской ГСХА находится на территории Среднего Предуралья в пределах южно-таежной подзоны таежно-лесной зоны в южном агроклиматическом районе Удмуртской Республики. Исследования проводились в годы с различными метеорологическими условиями (табл. 1).

Вегетационные периоды 2013 г. и 2016 г. характеризовались как засушливые; 2012, 2015 и 2017 гг. – с избыточным увлажнением.

Результаты исследований. Одним из основных заболеваний ячменя является корневая гниль. Корневая гниль встречается ежегодно, повсеместно и вызывается грибами рода *Fusarium* и *Helminthosporium*. Грибы рода *Fusarium* поражают различные части многих растений. Патогены существуют в почве постоянно. Грибы *Fusarium sp.* могут быть как первичными, так и вторичными патогенами или сапрофитами, которые колонизируют ткань, после того как корневая гниль, вызванная другими патогенами, уже присутствует. Растения инфицируются при прорастании семян и в период роста. Патогены проникают в корни, заселяют поверхностные ткани и ксилему. Проростки инфицируются грибами рода *Fusarium sp.*, находящимися в почве, на растительных остатках, на поверхности семян. Прорастание спор грибов рода *Fusarium* сти-

мулируется выделениями семян и корневых волосков. Поражение растений повышается при условиях, способствующих угнетению растений. К этим условиям относятся глубокая заделка семян, тяжелые почвы, холодная температура, избыточная или недостаточная обеспеченность влагой и питательными веществами.

Результаты учёта поражения ячменя корневой гнилью в фазу кущения представлены в таблицах 2 и 3. В зависимости от метеорологических условий исследуемых лет развитие корневой гнили на ячмене в фазу кущения составляло от 7,8 до 34,5 %. Максимальное развитие болезни отмечено в засушливые 2012, 2015 и 2016 гг. от 25 до 40 %. Степень поражения (при недостаточном количестве влаги в мае 2011, 2013 и 2014 гг.) составила при использовании Новосила 5,3–12 %. При избыточной влагообеспеченности (в мае 2017 г.) степень поражения составляла 6,1–9,1 %. Регуляторы роста растений действовали нестабильно. Эффективное действие Эпин-Экстра отмечено в 2011 (засушливые условия), 2015 и 2016 гг. (при достаточном увлажнении). Новосил способствовал снижению развития болезни во все годы исследования (кроме 2012 и 2013 гг.), а Иммуноцитифит – в 2011, 2014, 2017 гг. В среднем за 7 лет исследований существенное снижение развития корневой гнили отмечено при применении Новосила.

Таблица 1 – Гидротермический коэффициент исследуемых лет (по данным метеостанции г. Ижевска)

Год	Май			Июнь			Июль			Август			Среднее за вегетационный период
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
2011	0,81	0,40	0,17	1,38	2,06	0,58	1,73	0,92	1,10	1,48	1,47	0,96	1,09
2012	0,77	0,87	1,79	0,45	4,76	0,20	0,53	1,41	2,53	0,08	4,22	3,70	1,78
2013	0,81	0,61	0,19	1,06	0,73	0,28	0,94	0,09	1,99	0,47	0,61	0,80	0,72
2014	1,74	0,17	0,12	1,07	2,13	0,75	3,67	0,12	0,22	0,05	2,09	1,46	1,13
2015	0	2,50	0,85	0,78	0,97	0,43	1,39	2,25	2,47	1,25	3,38	4,73	1,75
2016	1,37	0,21	0,03	2,01	1,42	0,94	1,09	0,88	0	0,58	0,04	0,22	0,73
2017	1,19	0,77	3,09	5,00	2,39	2,48	5,23	0,34	2,49	1,32	0,37	1,26	2,16
среднепогодные	1,51	1,26	1,11	1,09	1,06	1,06	1,02	1,06	1,02	1,01	1,02	1,13	1,11

Таблица 2 – Развитие корневой гнили в фазу кущения, %

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	15,7	27,9	8	20,0	36	41	18,3	23,8
Эпин-Экстра	6,6	27,9	7	20,8	27	31	9,1	18,5
Новосил	5,3	29,3	9	12,5	25	31	8,5	17,2
Иммуноцитифит	9,8	28,0	7	10,8	40	35	6,1	19,5
Среднее	9,4	28,3	7,8	11,8	32	34,5	10,5	19,2
НСР ₀₅	4,0	4,8	2,5	5,0	8	7	8,1	5,6
ГТК за май	0,46	1,14	0,54	0,68	1,12	1,06	1,68	1,29

Таблица 3 – Распространенность корневой гнили в фазу кущения, %

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	37,6	80,9	19	49,8	77	91	28,5	54,8
Эпин-Экстра	13,3	76,6	25	66,0	68	80	19,0	49,7
Новосил	11,2	79,7	33	45,0	79	79	13,5	48,6
Иммуноцитифит	20,1	69,0	23	41,0	84	91	15,0	49,0
Среднее	20,6	76,6	25	50,5	77	85,3	19,0	50,6
НСР ₀₅	4,6	10,5	6,8	13,3	$F_{\phi} < F_T$	8	6,1	–

В наших исследованиях наблюдалось, что в засушливых условиях распространенность болезни была ниже, чем при достаточном увлажнении, за исключением 2014 г., когда распространенность составила в среднем 50,5 %. При избыточном увлажнении в 2017 г. также отмечено меньшее количество больных растений – 19,0 %. Снижение распространенности болезни под действием регуляторов роста растений отмечено в засушливый май 2011 г. и в период с повышенным увлажнением 2017 г. В 2012 г. снижение количества больных растений произошло при применении Иммуноцитифита, а в 2016 г. – Эпин-Экстра и Новосила. В среднем за 7 лет исследований существенного снижения распространенности болезни под действием регуляторов роста выявлено не было.

На ячмене в годы исследований (за исключением 2014 г.) развивались гельминтоспориозные пятнистости. В 2013 г. отмечалась темно-бурая пятнистость (гриб *Bipolaris sorokiniana* Shoem., синоним *Drechslera sorokiniana*). В остальные годы – сетчатая пятнистость (гриб *Pyrenophora teres* Drechs.). Возбудитель *Pyrenophora teres* сохраняется в виде мицелия в семенах и на растительных остатках. Спороношение на листьях ячменя появляется при 100 % относительной влажности воздуха в диапазоне температур от 15 до 25 °С; оптимальной температурой является 22 °С. Наибольшие потери урожая наблюдаются при раннем и сильном поражении флагового листа. Снижение фотосинтетической площади растений отразилось на массе и числе зерен в колосе [3].

Название «сетчатая пятнистость» обусловлено симптомом сетки, образующейся на листьях ячменя: на листьях взрослых растений образуются узкие, темно-коричневые некрозы в виде полосок, состоящих из продольных и поперечных коричневых штрихов, образующих рисунок сетки. Сильно пораженные листья высыхают. Гриб существует в двух формах: *Pyrenophora teres f. teres*, вызывающей симптомы типично сетчатых пятен, и *Pyrenophora teres f. maculate*, вызывающей симптом округлой пятнистости (spot type). Симптомы spot type характеризуются темно-коричневыми округлыми или эллипсоидальными пятнами, окруженными хлорозами [1, 7, 26, 34].

Сетчатая пятнистость в 2011 г. развивалась по типу spot type, начиная с фазы цветения, и составила в фазу молочной спелости в среднем 18 % (табл. 4). В остальные годы сетчатая пятнистость проявлялась по классическому типу «сетки», с очень сильным хлорозом, начиная с фазы трубкования.

Поражение листьев гельминтоспориозом практически не зависело от метеорологических условий вегетационного периода. Исследуемые регуляторы роста растений, применяемые в виде обработки семян, были мало эффективны против данного заболевания. Снижению темно-бурой пятнистости в 2013 г. способствовал препарат Иммуноцитифит. Эпин-Экстра был эффективен в 2012 и 2015 гг. против сетчатой пятнистости. Новосил подавлял сетчатую пятнистость только в засушливых условиях июня 2015 г.

Таблица 4 – Степень поражения листьев ячменя гельминтоспориозом, %

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	17,9	31,9	24	41	2,9	17,3	19,3
Эпин-Экстра	17,2	22,8	30	26	2,0	16,7	16,4
Новосил	17,5	28,1	29	32	2,6	15,5	17,8
Иммуноцитифит	18,1	32,9	37	42	2,1	17,3	21,3
Среднее	17,7	28,9	30	35	2,4	16,7	21,8
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	8,8	8	9	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$
ГТК июня	1,34	1,80	0,69	0,73	1,46	3,29	1,07

Для расчета урожайности были определены основные элементы структуры урожая: количество продуктивных растений, продуктивных стеблей, масса 1000 зерен, масса зерна с колоса. Данные приведены в таблицах 5–7.

из 7 исследуемых лет, различных по метеорологическим условиям. В среднем за 7 лет существенное увеличение биологической урожайности ячменя произошло при применении Иммуноцитифита на 43 г/м².

Таблица 5 – Биологическая урожайность ячменя, г/м²

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	323	272	177	319	230	227	326	268
Эпин-Экстра	346	294	150	363	289	205	381	289
Новосил	330	285	197	356	294	255	426	306
Иммуноцитифит	371	315	198	387	233	286	390	311
Среднее	343	292	181	356	262	243	381	294
НСР ₀₅	36	F _φ < F _τ	19	44	33	26	95	42
ГТК за вегетационный период	1,09	1,78	0,72	1,13	1,75	0,73	2,16	1,11

Таблица 6 – Количество продуктивных стеблей, шт./м²

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	382	392	272	342	438	392	463	383
Эпин-Экстра	408	439	211	403	442	355	491	393
Новосил	393	408	262	392	426	431	524	405
Иммуноцитифит	395	438	260	430	458	423	487	413
Среднее	395	419	251	392	441	400	491	399
НСР ₀₅	38	F _φ < F _τ	52	62	F _φ < F _τ			

Таблица 7 – Продуктивность колоса, г

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Без обработки семян (контроль)	0,85	0,70	0,63	0,90	0,53	0,58	0,73	0,70
Эпин-Экстра	0,85	0,67	0,66	0,90	0,66	0,58	0,79	0,73
Новосил	0,84	0,70	0,70	0,89	0,69	0,59	0,84	0,75
Иммуноцитифит	0,94	0,71	0,71	0,88	0,51	0,68	0,82	0,75
Среднее	0,87	0,70	0,68	0,89	0,60	0,61	0,80	0,73
НСР ₀₅	0,04	F _φ < F _τ	0,05	F _φ < F _τ	0,08	0,05	0,08	0,05
ГТК июль	1,25	1,49	1,01	1,34	2,04	0,66	2,69	1,03

Биологическая урожайность ячменя зависела от влаго- и теплообеспеченности исследуемых лет. Максимальная урожайность наблюдалась в 2017 г. (ГТК вегетационного периода 2,16) – 381 г/м². Минимальная – в 2013 и 2016 гг. – 181 и 243 г/м² соответственно (ГТК = 0,72 и 0,73). Эпин-Экстра способствовал повышению урожайности только в 2 года из 7 исследуемых – 2014 и 2015 гг. В засушливый 2013 г. отмечено снижение урожайности при применении Эпин-Экстра, что подтверждается данными разработчиков: препарат эффективен в прохладные годы с излишним увлажнением [2, 5].

Увеличение урожайности под влиянием Новосила и Иммуноцитифита отмечено в 4 года

При определении структуры урожайности выявлено, что регуляторы роста не влияли на количество продуктивных стеблей, но способствовали повышению продуктивности колоса.

В среднем за годы исследований Новосил и Иммуноцитифит способствовали увеличению массы зерна с колоса с 0,70 до 0,75 г.

Регуляторы роста растений известны своим положительным действием на урожайность сельскохозяйственных культур, их используют и для биологизированной защиты от патогенов. Описаны случаи ингибирующего действия регуляторов на образование спор грибов в значительных концентрациях. Однако привлекательное с экологических позиций использование регуляторов роста далеко не всег-

да приводит к подавлению возбудителей болезни и повышению урожайности сельскохозяйственных культур [4]. Часто наблюдается увеличение образования репродуктивных органов грибов при добавлении регуляторов в среду роста и развития патогенов [14].

Выводы:

1. В годы исследований существенное снижение развития корневой гнили в фазу кущения отмечено при применении Новосила, а в среднем по регуляторам роста развитие болезни было на уровне экономического порога вредоносности.

2. Распространенность корневой гнили в фазу кущения не изменялась под действием регуляторов роста.

3. Исследуемые регуляторы роста растений, применяемые на семенах, были мало эффективны против гелиминтоспориозных пятнистостей.

4. Увеличение урожайности под влиянием Новосила и Иммуноцитифита отмечено в 4 года из 7 исследуемых лет, различных по метеорологическим условиям.

5. Регулятор роста Иммуноцитифит способствовал существенному увеличению биологической урожайности ячменя на 43 г/м^2 при $\text{НСР}_{05} = 42 \text{ г/м}^2$.

Список литературы

1. Афанасенко, О. С. Картирование локусов, контролирующих устойчивость ячменя к различным изолятам *Rhynchospora teres f. teres* и *Cochliobolus sativus* / О. С. Афанасенко, А. В. Козьяков, П. Хедлэй и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18. – № 4/1. – С. 751–764.

2. Вакуленко, В. В. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / В. В. Вакуленко, О. А. Шаповалов // Плодородие. – 2001. – № 2. – С. 23–24.

3. Войтова, Л. Р. Сетчатая пятнистость ячменя // Защита растений. – 1971. – № 11. – С. 44.

4. Деревягина, М. А. Оптимизация схем защиты картофеля от болезней / М. А. Деревягина [и др.] // Картофелеводство России: актуальные проблемы науки и практики: материалы Международного конгресса «Картофель. Россия – 2007». – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2007. – С. 30–40.

5. Дорожкина, Л. А. Циркон, Эпин-Экстра и Силиплант в инновационных технологиях возделывания зерновых культур / Л. А. Дорожкина, П. Е. Пузырьков, Н. И. Добрева, В. Н. Рыбина // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 4. – С. 75–86.

6. Ижболдина, Н. А. Влияние регуляторов роста растений на урожайность и фитосанитарное состояние ячменя / Н. А. Ижболдина // Научные труды студентов Ижевской ГСХА [Электронный ре-

сурс]. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – № 3 (4). – С. 49–53. – URL: http://nts-izhgsha.ru/assets/nauchtrudstud_1-2017.pdf.

7. Клименко, О. П. Структура популяций возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистостей листьев ячменя по признаку вирулентности и методы создания инфекционных фонов в связи с селекцией устойчивых сортов: автореф. ... канд. дисс. / О. П. Клименко. – Киев, 1994. – 20 с.

8. Коркина, Н. Ю. Влияние биопрепарата Фитоспорина М и регулятора роста растений Иммуноцитифита на урожайность и биометрические показатели ячменя сорта Раушан / Н. Ю. Коркина, О. В. Коробейникова // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: м-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2013. – С. 93–95.

9. Коробейникова, О. В. Влияние обработки семян регуляторами роста растений на поражённость болезнями и урожайность яровых зерновых культур / О. В. Коробейникова // Образование, наука и производство. – 2015. – № 3 (12). – С. 54–56.

10. Коробейникова, О. В. Реакция ячменя сорта Раушан на обработку семян регуляторами роста растений / О. В. Коробейникова // Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства: м-лы Междунар. науч.-практ. конф. в 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – С. 39–43.

11. Коробейникова, О. В. Экономическая оценка применения регуляторов роста растений в посевах яровых зерновых культур в условиях Удмуртской Республики / О. В. Коробейникова // Исторические аспекты, состояние и перспективы развития земледелия в Сибири и Казахстане: м-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию освоения целинных и залежных земель (12–13 марта 2014 года). – Омск: ЛИТЕРА, 2014. – С. 178–180.

12. Коробейникова, О. В. Влияние регуляторов роста растений на инфицированность возбудителями корневой гнили и посевные качества семян ячменя сорта Раушан / О. В. Коробейникова, Н. Ю. Коркина // Наука, инновации и образование в современном АПК: м-лы Междунар. науч.-практ. конф. в 3 т. 11–14 февраля 2014 г. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – Т. 1. – С. 16–19.

13. Коробейникова, О. В. Влияние биопрепарата и регуляторов роста растений на поражённость яровых зерновых культур корневой гнилью / О. В. Коробейникова, Н. Ю. Коркина, М. А. Рябова // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение: м-лы Всеросс. науч.-практ. конф. 14–17 февр. 2012 г. Т. 1. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С. 88–92.

14. Кузьминых, А. Н. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от применения стимуляторов роста / А. Н. Кузьминых // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: м-лы региональной научно-

практической конференции. – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2008. – Вып. X. – С. 605–606.

15. Кульнев, А. И. Роль арахидоновой кислоты в повышении урожайности и устойчивости агробиоценозов к техногенным воздействиям пестицидов (на примере препарата Иммуноцитифит) / А. И. Кульнев // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: м-лы Междунар. научно-практической конференции. – Краснодар, 2018. – С. 497–500.

16. Мигранов, Р. Р. Реакция сортов яровой пшеницы на применение биопрепаратов в энергосберегающей технологии возделывания / Р. Р. Мигранов, Р. К. Кадиков // Российский электронный научный журнал. – 2013. – № 1 (1). – С. 281–285.

17. Павловская, Н. Е. Влияние последействия регулятора роста и биопрепарата на посевные качества семян ячменя / Н. Е. Павловская, А. Г. Тимаков, И. В. Яковлева, Н. Ю. Агеева // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 2 (77). – С. 24–29.

18. Посадов, А. Ю. Влияние регуляторов роста растений на фитосанитарное состояние ячменя сорта Раушан / А. Ю. Посадов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА [Электронный ресурс]. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – № 1 (4). – С. 54–57.

19. Тимаков, А. Г. Влияние новых биологических препаратов на структуру урожая ярового ячменя в зависимости от метеоусловий / А. Г. Тимаков, В. В. Мамеев, Н. Е. Павловская // Агрехимический вестник. – 2019. – № 2. – С. 53–57.

20. Ткачук, О. А. Эффективность применения регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / О. А. Ткачук, Е. В. Ефремова, А. Н. Орлов // Молодой ученый. – 2013. – № 4 (51). – С. 677–679. – URL: <https://moluch.ru/archive/51/6543/> (дата обращения: 08.03.2021).

21. Федотова, Л. С. Применение регуляторов роста на основе арахидоновой кислоты на картофеле / Л. С. Федотова, А. В. Кравченко, Н. А. Тимошина // Защита и карантин растений. – 2011. – № 11. – С. 18–19.

22. Эпин-Экстра. Механизм действия [Электронный ресурс]. – URL: <https://nest-m.ru/produktsiya/regulatory-rosta/epin-ekstra/> (дата обращения: 08.03.2021).

23. Almeselmani, M. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress / Almeselmani M., PS Deshmukh, RK Sairam, SR Kushwaha, T. P. Singh // Plant Sci. – 2006. – Vol. 171. – № 3. – pp. 382–388.

24. Anjum, S. A. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress / S. A. Anjum, X. Xie, L. Wang, M. F. Saleem, C. Man, W. Lei // African Journal of Agricultural Research. – 2011. – Vol. 6. – № 9. – pp. 2026–2032.

25. Calvo, P. Agricultural uses of plant biostimulants / P. Calvo, LM. Nelson, J. Kloepper // Plant Soil. – 2014. – Vol. 383. – pp. 3–41.

26. Characterizing the *Pyrenophora teres* f. *maculata* – Barley Interaction Using Pathogen Genetics [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.research-](https://www.researchgate.net/publication/318020828_Characterizing_the_Pyrenophora_teres_f_maculata_-_Barley_Interaction_Using_Pathogen_Genetics)

[gate.net/publication/318020828_Characterizing_the_Pyrenophora_teres_f_maculata_-_Barley_Interaction_Using_Pathogen_Genetics](https://www.researchgate.net/publication/318020828_Characterizing_the_Pyrenophora_teres_f_maculata_-_Barley_Interaction_Using_Pathogen_Genetics) (дата обращения: 08.03.2021).

27. Egizbaeva, T. K. Cellular selection of wheat and potato using peroxidase as a marker protein drought resistance / T. K. Egizbaeva, T. Lee, A. Haseyn, A. E. Halybetova, F. Zhardemali // Biotechnology. Theory and practice. – 2010. – № 3. – P. 25–32.

28. Grzesiak, M. Relationships between polyamines, ethylene, osmoprotectants and antioxidant enzymes activities in wheat seedlings after short-term PEG- and NaCl-induced stresses / M. Grzesiak, M. Filek, A. Barbasz, B. Kreczmer, H. Hartikainen // Plant Growth Regul. – 2013. – Vol. 69. – pp. 177–189.

29. Jensen, B. Biological seed treatment of cereals with fresh and long-term stored formulations of *Clonostachys rosea*: biocontrol efficacy against *Fusarium culmorum* / B. Jensen, IMB Knudsen, D Funck Jensen // Eur J Plant Pathol. – 2000. – pp. 233–242.

30. Kriuchkova, L. O. Biological control of leaf disease of barley with *Bacillus* strain // BIOLOGIJA. – 2017. – Vol. 63. – № 3. – pp. 289–295.

31. Mathre, D. E. (Edit.) Compendium of barley diseases. – APS PRESS, 1997. – 90 p.

32. Matiu, M. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961–2014 / M. Matiu, DP Ankerst, A. Menzel // PLoS 2017. ONE 12(5): e0178339.

33. Meziane, H. Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants / H. Meziane, I. van der Sluis, LC van Loon, M Höfte, PAHM Bakker // Molecular Plant Pathology. – 2005. – Vol. 6. – pp. 177–185.

34. Philippot, L. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere / L. Philippot, JM Raaijmakers, P Lemanceau, WH van der Putten // Nat Rev Microbiol. – 2013. – № 11. – Pp. 789–799.

35. Reference Assembly and Annotation of the *Pyrenophora teres* f. *teres* Isolate 0–1 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/321250401_Reference_Assembly_and_Annotation_of_the_Pyrenophora_teres_f_teres_Isolate_0-1 (дата обращения: 08.03.2021).

36. Sharma, S. Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential / S. Sharma, J. G. Villamon, P. E. Verslues // Plant Physiol. – 2011. – Vol. 157. – pp. 292–304.

37. Whipps, J. M. Biological control agents in plant disease control / Whipps J. M., M. McQuilken // In Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches. – 2009. – pp. 27–61.

38. Nega, A. K. Review on concepts in biological control of plant pathogens / A. K. Nega // Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. – 2014. – Vol. 4. – № 27. – P. 33–54.

39. Woo, S.L. The molecular biology of the interactions between *Trichoderma* spp., phytopathogenic fungi, and plants / S. L. Woo, F. Scala, M. Ruocco, M. Lorito // Phytopathology. – 2006. – Vol. 96. – pp. 181–185.

Spisok literatury

1. Afanasenko, O. S. Kartirovanie lokusov, kontroliruyushchih ustojchivost' yachmenya k razlichnym izolyatam *Pyrenophora teres f. teres* i *Cochliobolus sativus* / O. S. Afanasenko, A. V. Koz'yakov, P. Hedlej i dr. // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. – 2014. – T. 18. – № 4/1. – S. 751–764.
2. Vakulenko, V. V. Reguljatory rosta rastenij v sel'skohozyajstvennom proizvodstve / V. V. Vakulenko, O. A. SHapovalov // *Plodorodie*. – 2001. – № 2. – S. 23–24.
3. Vojtova, L. R. Setchataya pyatnistost' yachmenya // *Zashchita rastenij*. – 1971. – № 11. – S. 44.
4. Derevyagina, M. A. Optimizaciya skhem zashchity kartofelya ot boleznej / M. A. Derevyagina, A. V. Danin, S. V. Vasil'eva i dr. // *Kartofelevodstvo Rossii: aktual'nye problemy nauki i praktiki: materialy Mezhdunarodnogo kongressa «Kartofel». Rossiya – 2007*. – M.: FGOU Rosinformagrotekh, 2007. – S. 30–40.
5. Dorozhkina, L. A. Cirkon, Epin-Ekstra i Siliplant v innovacionnyh tekhnologiyah vozdeljvaniya zernovyh kul'tur / L. A. Dorozhkina, P. E. Puzyr'kov, N. I. Dobrova, V. N. Rybina // *Zernovoe hozyajstvo Rossii*. – 2011. – № 4. – S. 75–86.
6. Izhboldina, N. A. Vliyanie reguljatorov rosta rastenij na urozhajnost' i fitosanitarnoe sostoyanie yachmenya / N. A. Izhboldina // *Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA [Elektronnyj resurs]*. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2017. – № 3 (4). – S. 49–53. – URL: http://nts-izhgsha.ru/assets/nauchtrudstud_1-2017.pdf.
7. Klimenko, O. P. Struktura populyacij vzbuditelej setchatoj i temno-buroj pyatnistostej list'ev yachmenya po priznaku virulentnosti i metody sozdaniya infekcionnyh fonov v svyazi s selekciej ustojchivyh sortov: avtoref. ... kand. diss. / O. P. Klimenko. – Kiev, 1994. – 20 s.
8. Korkina, N. YU. Vliyanie biopreparata *Fitosporina M* i reguljatora rosta rastenij *Immunocitofita* na urozhajnost' i biometricheskie pokazateli yachmenya sorta Raushan / N. YU. Korkina, O. V. Korobejnikova // *Nauchno obespechenie APK. Itogi i perspektivy: m-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu FGOU VPO Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya*. – Izhevsk, 2013. – S. 93–95.
9. Korobejnikova, O. V. Vliyanie obrabotki semyan reguljatorami rosta rastenij na porazhyonnost' boleznyami i urozhajnost' yarovykh zernovykh kul'tur / O. V. Korobejnikova // *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo*. – 2015. – № 3 (12). – S. 54–56.
10. Korobejnikova, O. V. Reakciya yachmenya sorta Raushan na obrabotku semyan reguljatorami rosta rastenij / O. V. Korobejnikova // *Nauchno obosnovannye tekhnologii intensivizatsii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: m-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v 3 t.* – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2017. – S. 39–43.
11. Korobejnikova, O. V. Ekonomicheskaya ocenka primeneniya reguljatorov rosta rastenij v posevah yarovykh zernovykh kul'tur v usloviyah Udmurtskoj Respubliki / O. V. Korobejnikova // *Istoricheskie aspekty, sostoyanie i perspektivy razvitiya zemledeliya v Sibiri i Kazahstane: m-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu osvoeniya celinnykh i zaleznykh zemel' (12–13 marta 2014 goda)*. – Omsk: LITERA, 2014. – S. 178–180.
12. Korobejnikova, O. V. Vliyanie reguljatorov rosta rastenij na inficirovannost' vzbuditeleyami kornevoj gnili i posevnye kachestva semyan yachmenya sorta Raushan / O. V. Korobejnikova, N. YU. Korkina // *Nauka, innovacii i obrazovanie v sovremennom APK: m-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v 3 t. 11–14 fevralya 2014 g.* – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2014. – T. 1. – S. 16–19.
13. Korobejnikova, O. V. Vliyanie biopreparata i reguljatorov rosta rastenij na porazhennost' yarovykh zernovykh kul'tur kornevoj gnilyu / O. V. Korobejnikova, N. YU. Korkina, M. A. Ryabova // *Innovacionnomu razvitiyu APK i agrarnomu obrazovaniju – nauchno obespechenie: m-ly Vseross. nauch.-prakt. konf. 14–17 fevr. 2012 g. T. 1.* – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2012. – S. 88–92.
14. Kuz'minyh, A. N. Produktivnost' yarovoj pshenicy v zavisimosti ot primeneniya stimulyatorov rosta / A. N. Kuz'minyh // *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva: Mosolovskie chteniya: m-ly regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Joshkar-Ola: Marijskij gos. un-t, 2008. – Vyp. X. – S. 605–606.
15. Kul'nev, A. I. Rol' arahidonovoy kisloty v povyshenii urozhajnosti i ustojchivosti agrobiocenozov k tekhnogennym vozdeystviyam pesticidov (na primere preparata *Immunocitofit*) / A. I. Kul'nev // *Biologicheskaya zashchita rastenij – osnova stabilizacii agroekosistem: m-ly Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferencii*. – Krasnodar, 2018. – S. 497–500.
16. Migranov, R. R. Reakciya sortov yarovoj pshenicy na primeneniye biopreparatov v energosberegayushchej tekhnologii vozdeljvaniya / R. R. Migranov, R. K. Kadikov // *Rossijskij elektronnyj nauchnyj zhurnal*. – 2013. – № 1 (1). – S. 281–285.
17. Pavlovskaya, N. E. Vliyanie posledestviya reguljatora rosta i biopreparata na posevnye kachestva semyan yachmenya / N. E. Pavlovskaya, A. G. Timakov, I. V. YAKovleva, N. YU. Ageeva // *Vestnik agrarnoj nauki*. – 2019. – № 2 (77). – S. 24–29.
18. Posadov, A. YU. Vliyanie reguljatorov rosta rastenij na fitosanitarnoe sostoyanie yachmenya sorta Raushan / A. YU. Posadov // *Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA [Elektronnyj resurs]*. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2018. – № 1 (4). – S. 54–57.
19. Timakov, A. G. Vliyanie novykh biologicheskikh preparatov na strukturu urozhaya yarovogo yachmenya v zavisimosti ot meteouslovij / A. G. Timakov, V. V. Mameev, N. E. Pavlovskaya // *Agrohimicheskij vestnik*. – 2019. – № 2. – S. 53–57.
20. Tkachuk, O. A. Effektivnost' primeneniya reguljatorov rosta pri vozdeljvanii yarovoj pshenicy v usloviyah lesostepnoj zony Srednego Povolzh'ya / O. A. Tkachuk, E. V. Efremova, A. N. Orlov // *Molodoj uchenyj*. – 2013. – № 4 (51). – S. 677–679. – URL: <https://moluch.ru/archive/51/6543/> (data obrashcheniya: 08.03.2021).

21. Fedotova, L. S. Primenenie regulatorov rosta na osnove arahidonovoj kisloty na kartofele / L. S. Fedotova, A. V. Kravchenko, N. A. Timoshina // *Zashchita i karantin rastenij*. – 2011. – № 11. – S. 18–19.
22. Epin-Ekstra. Mekhanizm dejstviya [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://nest-m.ru/produktsiya/regulyatory-rosta/epin-ekstra> (data obrashcheniya: 08.03.2021).
23. Almeselmani, M. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress / Almeselmani M., PS Deshmukh, RK Sairam, SR Kushwaha, T. P. Singh // *Plant Sci*. – 2006. – Vol. 171. – № 3. – pp. 382–388.
24. Anjum, S. A. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress / S. A. Anjum, X. Xie, L. Wang, M. F. Saleem, S. Man, W. Lei // *African Journal of Agricultural Research*. – 2011. – Vol. 6. – № 9. – pp. 2026–2032.
25. Calvo, P. Agricultural uses of plant biostimulants / P. Calvo, LM. Nelson, J. Kloepper // *Plant Soil*. – 2014. – Vol. 383. – pp. 3–41.
26. Characterizing the *Pyrenophora teres* f. *maculata* – Barley Interaction Using Pathogen Genetics [Elektronnyj resurs]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/318020828_Characterizing_the_Pyrenophora_teres_f_maculata_-_Barley_Interaction_Using_Pathogen_Genetics (data obrashcheniya: 08.03.2021).
27. Egizbaeva, T. K. Cellular selection of wheat and potato using peroxidase as a marker protein drought resistance / T. K. Egizbaeva, T. Lee, A. Haseyn, A. E. Halymbetova, F. Zhardemali // *Biotechnology. Theory and practice*. – 2010. – № 3. – pp. 25–32.
28. Grzesiak, M. Relationships between polyamines, ethylene, osmoprotectants and antioxidant enzymes activities in wheat seedlings after short-term PEG- and NaCl-induced stresses / M. Grzesiak, M. Filek, A. Barbasz, B. Kreczmer, H. Hartikainen // *Plant Growth Regul*. – 2013. – Vol. 69. – pp. 177–189.
29. Jensen, B. Biological seed treatment of cereals with fresh and long-term stored formulations of *Clonostachys rosea*: biocontrol efficacy against *Fusarium culmorum* / B. Jensen, IMB Knudsen, D Funck Jensen // *Eur J Plant Pathol*. – 2000. – pp. 233–242.
30. Kriuchkova, L. O. Biological control of leaf disease of barley with *Bacillus* strain // *BIOLOGIJA*. – 2017. – Vol. 63. – № 3. – pp. 289–295.
31. Mathre, D. E. (Edit.) Compendium of barley diseases. – APS PRESS, 1997. – 90 p.
32. Matiu, M. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961–2014 / M. Matiu, DP Ankerst, A. Menzel // *PLoS* 2017. ONE 12(5): e0178339.
33. Meziane, H. Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants / H. Meziane, I. van der Sluis, LC van Loon, M Höfte, PAHM Bakker // *Molecular Plant Pathology*. – 2005. – Vol. 6. – pp. 177–185.
34. Philippot, L. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere / L. Philippot, JM Raaijmakers, P Lemanceau, WH van der Putten // *Nat Rev Microbiol*. – 2013. – № 11. – pp. 789–799.
35. Reference Assembly and Annotation of the *Pyrenophora teres* f. *teres* Isolate 0–1 [Elektronnyj resurs]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/321250401_Reference_Assembly_and_Annotation_of_the_Pyrenophora_teres_f_teres_Isolate_0-1 (data obrashcheniya: 08.03.2021).
36. Sharma, S. Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential / S. Sharma, J. G. Villamon, P. E. Verslues // *Plant Physiol*. – 2011. – Vol. 157. – pp. 292–304.
37. Whipps, J. M. Biological control agents in plant disease control / Whipps J. M., M. McQuilken // *In Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches*. – 2009. – pp. 27–61.
38. Nega, A. K. Review on concepts in biological control of plant pathogens / A. K. Nega // *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. – 2014. – Vol. 4. – № 27. – pp. 33–54.
39. Woo, S.L. The molecular biology of the interactions between *Trichoderma* spp., phytopathogenic fungi, and plants / S. L. Woo, F. Scala, M. Ruocco, M. Lorito // *Phytopathology*. – 2006. – Vol. 96. – pp. 181–185.

Сведения об авторах:

Коробейникова Ольга Валентиновна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и землеустройства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: korobejnikova.olga@inbox.ru).

Строт Татьяна Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия и землеустройства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: tatyanastr@yandex.ru).

Маслова Мария Павловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и землеустройства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: mary.maslova2009@yandex.ru).

Эсенкулова Ольга Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и землеустройства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: o.w.esen@mail.ru).

Никитин Александр Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и землеустройства, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: aanikitin_0@mail.ru).

O. V. Korobejnikova, T. A. Strot, M. P. Maslova, O. V. Esenkulova, A. A. Nikitin
Izhevsk State Agricultural Academy

EFFICIENCY OF TREATMENT OF BARLEY SEEDS BY PLANT GROWTH REGULATORS IN DIFFERENT METEOROLOGICAL

In 2011–2017 on the experimental field of the Izhevsk State Agricultural Academy, studies were carried out on the effect of treating barley seeds with plant growth regulators during growing seasons with different meteorological conditions. The aim of the research is to analyze the effectiveness of plant growth regulators, which have an immunizing effect and allow to enhance the adaptive potential of plants to the action of unfavorable environmental factors and infectious diseases, when processing barley seeds and their effect on crop yield. The tasks of the research included: to identify the development and prevalence of diseases during the growing season, to determine the effect of biological products on the biological yield of barley. Seed treatment was carried out on barley of the Raushan variety. The plant growth regulators were studied: Epin-Extra, R, Novosil, VE, Immunocytovit, TAB. In the years of research, a significant decrease in the development of root rot in the tillering phase was noted when using Novosil, and on average, the development of the disease in terms of growth regulators was at the level of the economic threshold of harmfulness. The prevalence of root rot in the tillering phase did not change under the influence of growth regulators. The investigated plant growth regulators used on seeds were not very effective against helminthosporium spots. An increase in yield under the influence of Novosil and Immunocytovit was noted in 4 years out of 7 studied years with different meteorological conditions. Growth regulator Immunocytovit contributed to a significant increase in the biological yield of barley by 43 g/m² at HCP₀₅ = 42 g/m². Thus, the use of growth regulators does not always lead to suppression of pathogens, and, accordingly, to an increase in crop yields.

Key words: barley; plant growth regulators; Epin-Extra; Novosil; Immunocytovit; root rot; helminthosporiosis of leaves; yield.

Authors:

Korobejnikova Olga Valentinovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agriculture and Land Management Department, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov St., Izhevsk, 426033, Russian Federation, e-mail: korobejnikova.olga@inbox.ru).

Strot Tatyana Aleksandrovna – Candidate of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture and Land Management, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov St., Izhevsk, 426033, Russian Federation, e-mail: tatanastrot@yandex.ru).

Maslova Maria Pavlovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Land Management, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov St., Izhevsk, 426033, Russian Federation, e-mail: mary.maslova2009@yandex.ru).

Esenkulova Olga Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agriculture and Land Management Department, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov St., Izhevsk, 426033, Russian Federation, e-mail: o.w.esen@mail.ru).

Nikitin Alexandr Alexandrovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Land Management, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov St., Izhevsk, 426033, Russian Federation, e-mail: aanikitin_0@mail.ru).

Т. Ю. Бортник¹, А. С. Башков¹, В. А. Капеев², Б. Б. Борисов²

¹ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

²Колхоз (СХПК) имени Мичурина Вавожского района
Удмуртской Республики

БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ВЯТСКО-КАМСКОЙ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

В современных условиях колхоз (СХПК) имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики является одним из высокорентабельных сельскохозяйственных предприятий. В землепользовании хозяйства преобладают дерново-сильнопodzolistые почвы, являющиеся типичными для условий Вятско-Камской земледельческой провинции. В хозяйстве внедрена адаптивно-ландшафтная система земледелия, в рамках которой используется структура посевных площадей, включающая более 50 % многолетних трав. В течение 1981–2019 гг. проводилась планомерная работа по воспроизводству плодородия почв. К 2019 г. насыщенность пашни органическими удобрениями составила 5,6 т/га; минеральными – около 60 кг д.в./га. В составе пашни преобладают почвы с содержанием органического вещества более 2,5 %, на долю которых приходится 79 %. К слабокислым, близким к нейтральным и нейтральным почвам следует отнести 77,5 % от площади пашни. Уровень обеспеченности почв подвижным фосфором позволяет получать высокую урожайность зерновых культур; преобладают почвы со средним и повышенным содержанием этого элемента (53,4 %). В то же время обеспеченность почв подвижным калием недостаточна; на долю почв с низким и средним содержанием приходится более 2/3 от площади пашни. Хозяйство стабильно получает высокую урожайность зерна – в пределах 3,7–5,3 т/га; картофеля – более 50 т/га, зелёной массы кукурузы – более 40 т/га. В этих условиях формируется положительный баланс органического вещества в почвах, однако нулевой и отрицательный баланс основных элементов питания. В 2019 г. интенсивность баланса азота составила 87 %; фосфора – 73 % и калия – 36 %. Показатели интенсивности производства колхоза (СХПК) имени Мичурина позволяют считать это хозяйство высокоэффективным предприятием.

Ключевые слова: воспроизводство плодородия; дерново-подзолистые почвы; урожайность; баланс; органическое вещество; элементы питания.

Актуальность. В 90-х годах прошлого столетия в России резко снизилось количество применяемых минеральных удобрений. В последние годы ситуация начала меняться в лучшую сторону, однако количество вносимых удобрений значительно уступает уровню 70–80-х годов прошлого века. Это привело к возникновению отрицательного баланса всех элементов питания в почвах почти во всех регионах страны. Чтобы противостоять существенному снижению содержания доступных растениям форм макро- и микроэлементов, необходима реализация комплекса мер по систематическому воспроизводству плодородия почв, тесно связанному с разумным использованием всех видов удобрений и химических мелиорантов [2, 4, 8, 21]. В. И. Кирюшин подчёркивает, что одной из приоритетных задач развития сельскохозяйственного производства является освоение адаптивно-ландшафтных систем зем-

леделия, ориентированных на рациональное природопользование [11]. Многолетние данные в конкретных почвенно-климатических условиях дают научную основу для разработки такой системы минерального питания сельскохозяйственных культур, которая не только обеспечивала бы стабильную и высокую урожайность сельскохозяйственных культур, но и отвечала бы требованиям сохранения и воспроизводства плодородия почв и охраны окружающей среды.

В условиях Вятско-Камской земледельческой провинции изучением минерального питания растений и эффективности систем удобрения занимались многие исследователи [4, 6, 7] и др.

Представленная статья написана по результатам многолетней производственной деятельности колхоза (СХПК) имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики. Данное предприятие долгие годы работает в тесном

сотрудничестве с учёными ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА; в хозяйстве внедрена адаптивно-ландшафтная система земледелия и достигнуты выдающиеся для условий Вятско-Камской земледельческой провинции агрономические и экономические показатели [5]. В связи с этим представляло интерес рассмотреть на примере этого хозяйства вопросы использования системы удобрения и воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв.

Цель работы – оценка изменения состояния плодородия дерново-сильноподзолистых почв при длительном сельскохозяйственном использовании в условиях производства, в рамках внедрённой адаптивно-ландшафтной системы земледелия при получении высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и экономической рентабельности сельскохозяйственного производства.

Задачи исследований:

1. Рассчитать баланс органического вещества и элементов питания в почве при использовании современной адаптивно-ландшафтной системы земледелия в сельскохозяйственном производстве.

2. Дать экономическую оценку эффективности ведения сельскохозяйственного производства в современных условиях.

Условия, материалы и методы. Удмуртская Республика располагается в междуречье Камы и Вятки, в восточной части Русской увалисто-холмистой равнины. Согласно почвенно-географическому районированию территории России, основная земельная площадь Удмуртии отнесена к Вятско-Камской провинции Южно-таёжной подзоны дерново-подзолистых почв, а южные районы республики – к Предуральской провинции серых лесных почв северной лесостепи. Территория республики составляет 232,4 тыс. км² [16]. Почвенный покров Удмуртии представлен разнообразными типами почв, различающимися также и по гранулометрическому составу, с явным преобладанием дерново-подзолистых почв (76,1 % от пахотных земель). Кроме того, имеются дерново-карбонатные, серые и светло-серые лесные почвы. По гранулометрическому составу преобладают легко- и среднесуглинистые, на долю супесчаных и песчаных почв приходится всего около 9 % [13].

На территории Удмуртской Республики выражен умеренно-континентальный тип климата; достаточно продолжительная малоснежная и холодная зима, тёплое и короткое лето. С севера на юг протяжённость территории со-

ставляет более 300 км, поэтому она подразделяется на следующие агроклиматические районы: северный, центральный и южный. Исследования проведены в условиях колхоза (СХПК) имени Мичурина Вавожского района, территория которого по природно-климатическим условиям входит в состав южного теплового района умеренного увлажнения. Самый холодный месяц – январь, самый тёплый – июль. Сумма положительных температур выше +10 °С. Средняя продолжительность безморозного периода 114 дней, вегетационного – 166 дней. Гидротермический коэффициент составляет 1,2. Среднегодовое количество осадков 400–500 мм [1].

Агрометеорологические условия, по данным Ижевской ГМС, в годы исследований в полевых опытах были различными по температурному режиму и влагообеспеченности, на годы исследований приходились как излишне переувлажненные, так и засушливые вегетационные периоды, что характерно для климата Вятско-Камской земледельческой провинции.

Рельеф в северо-западной части спокойный и волнистый; в юго-восточной – волнисто-увалистый, изрезанный, с многочисленными балками и значительными перепадами высоты. Значительная часть территории подвержена водной эрозии – 79,4 % от площади сельскохозяйственных угодий.

Наиболее распространены дерново-подзолистые почвы, на которые приходится 81,2 % от общей площади землепользования хозяйства. По гранулометрическому составу преобладают среднесуглинистые почвы, доля которых составляет 53 %; легкосуглинистые – 41 % и супесчаные – 4 %.

Расчет баланса элементов питания проведен по рекомендациям ВНИИА [9]. При расчете баланса гумуса использовались рекомендации В. А. Ионаса и др. [10].

Результаты исследований. Общая площадь землепользования колхоза (СХПК) имени Мичурина в 2019 г. составляет 4811 га. Наиболее распространенными являются дерново-подзолистые почвы, которые занимают более 80 % от общей площади землепользования. Из них на дерново-сильноподзолистые приходится 74,7 %. По гранулометрическому составу около 3,7 % пашни составляют супесчаные почвы; 42,4 % – легкосуглинистые; среднесуглинистые почвы занимают 52,9 % пашни.

Возделывание сельскохозяйственных культур проводится в двух севооборотах: полевом и кормовом. Каждая культура в севооборотах

размещается по отличным и хорошим предшественникам. Солома озимых зерновых культур полностью на всей площади заделывается в почву, что компенсирует потери гумуса и служит удобрением для других культур.

Структура посевных площадей на протяжении более чем трех десятилетий изменялась и совершенствовалась. Известно, что при высокой доле зерновых культур (более 80 %) может снижаться их урожайность [12]. В то же время при использовании в севооборотах многолетних бобовых трав (клевера, люцерны) формируется благоприятный питательный режим в почвах, что способствует высокому уровню рентабельности производства зерна [19]. В 90-е гг. прошлого столетия в СХПК имени Мичурина было выражено преобладание зерновых культур в структуре посевных площадей, а однолетние и многолетние травы составляли около 35 %. В настоящее время на долю трав приходится 50,3 %. Также в связи с животноводческой специализацией хозяйства на значительной площади возделывается кукуруза (10 % в структуре посевных площадей). Зерновые культуры занимают 30,6 % от площади пашни [20].

Система обработки почвы – это совокупность приемов обработки почвы, выполняемых в определенной последовательности, применительно к почвенно-климатическим условиям. Как известно, на обработку почвы приходится около половины затрат по выращиванию сельскохозяйственных культур. В СХПК имени Мичурина внедрены приемы энергоресурсосберегающей минимальной обработки почвы с учётом биологических особенностей каждой культуры.

В хозяйстве постоянно большое внимание уделяли применению органических удобрений для получения бездефицитного баланса гумуса. В 80-е и 90-е гг. прошлого столетия активно проводили компостирование; с учётом всех видов поступающей органики насыщенность пашни органическими удобрениями составляла не менее 10 т/га. В настоящее время поголо-

вье скота снизилось; общеизвестно, что внесение навоза и компостов является одним из самых затратных мероприятий в сельскохозяйственном производстве, однако планомерная работа по поддержанию положительного баланса гумуса продолжается; насыщенность органическими удобрениями в последние годы составляет 5,5–5,7 т/га.

Наибольшее количество минеральных удобрений в хозяйстве вносили в 80-е гг. прошлого столетия; так, в 1981 г. насыщенность 1 га пашни составила 159 кг д.в. НРК. В последующие годы, как и в большинстве хозяйств Вятско-Камской земледельческой провинции, произошло резкое снижение применения минеральных удобрений, при этом практически отказались от известкования и фосфоритования, что негативно повлияло на показатели плодородия почв.

Следует отметить, что в настоящее время в хозяйстве в союзе с учёными ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА с учётом современных научных подходов разработана и внедрена система удобрения сельскохозяйственных культур, что в сочетании с отлаженной системой защиты растений позволяет получать высокий и стабильный уровень урожайности с хорошим качеством продукции растениеводства. Средняя насыщенность минеральными удобрениями в последние годы колеблется в пределах 60–65 кг д.в./га (табл. 1). К сожалению, в составе минеральных удобрений относительно мала доля фосфора и калия, соотношение N:P:K составляет 1:0,3:0,3.

Система удобрения озимых культур в СХПК имени Мичурина включает обязательную азотную подкормку в дозах 25–40 кг д.в./га. В СХПК имени Мичурина используются современные посевные агрегаты с обязательным припосевным внесением удобрений, преимущественно комплексных. Система удобрения картофеля также включает припосадочное внесение полного минерального удобрения.

Таблица 1 – Применение органических и минеральных удобрений в СХПК имени Мичурина, Удмуртская Республика

Вид удобрения	Единицы измерения	2017	2018	2019	Среднее за 3 года
Органические	т	27540	26700	27150	27130
Минеральные	т д.в.	311,5	301,9	290,2	301,2
в т.ч. азотные	т д.в.	199,5	183,2	181	187,9
фосфорные	т д.в.	56,0	55,9	54,6	55,5
калийные	т д.в.	56,0	62,8	54,6	57,8
Насыщенность органическими удобрениями	т/га	5,7	5,5	5,6	5,6
Насыщенность минеральными удобрениями	кг/га	64,8	62,8	60,3	62,6

Влияние систематического внесения минеральных удобрений и химических мелиорантов на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв установлено многочисленными исследованиями не только в России, но и за рубежом [24, 25]. В связи с этим представляло интерес выявить изменение основных агрохимических показателей плодородия дерново-подзолистых почв под влиянием интенсивного использования и внедрённой системы удобрения в рамках адаптивно-ландшафтной системы земледелия (рис. 1–4).

Важными показателями фундаментальных свойств почвенного покрова, которые возможно контролировать с помощью агрохимической службы, являются содержание в почвах органического вещества и реакция почвенной среды [17]. Как было указано ранее, в начале 80-х гг. прошлого столетия в СХПК имени Мичурина достаточно широко использовали компостирование; насыщенность 1 га пашни органическими удобрениями составляла около 9 т/га. По данным агрохимического обследования, в 1981 г. преобладала средняя и повышенная обеспеченность почв хозяйства органическим веществом – на 72,9 % от общей площади пашни (рис. 1).

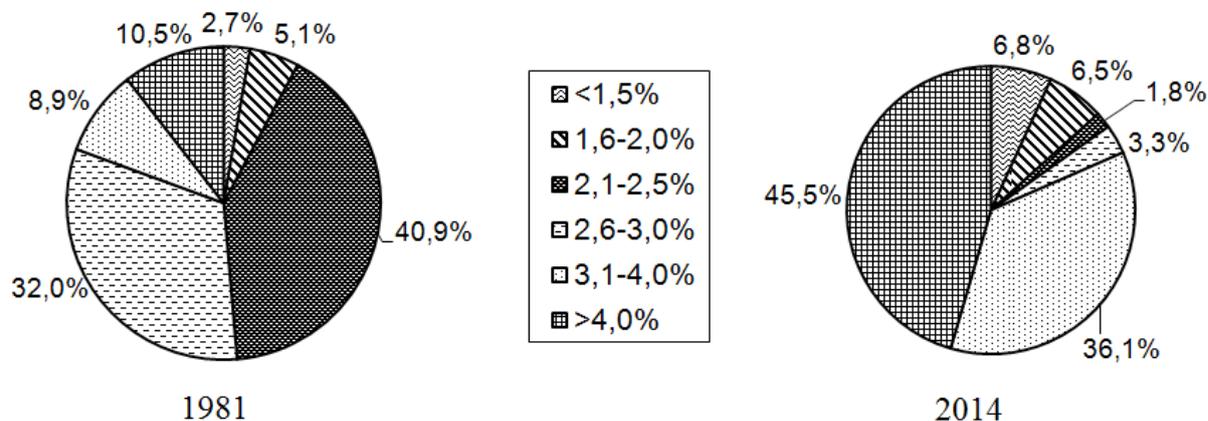


Рисунок 1 – Распределение площади пашни по содержанию органического вещества, %. СХПК имени Мичурина, Удмуртская Республика, 1981 и 2014 гг.

В 2014 г. был проведён VIII цикл агрохимического обследования почв хозяйства. Следует отметить, что обследованием была охвачена практически вся площадь пашни; как известно, довольно часто в условиях производства используется выборочный подход к обследованию земель. Это связано с высокой затратностью данного мероприятия, и не всегда хозяйствам удаётся получить субсидии на эти работы. По данным 2014 г., в хозяйстве отсутствуют почвы с очень низкой обеспеченностью ор-

ганическим веществом; на долю почв со средней и повышенной обеспеченностью приходится более половины площадей – 59,4 %. Заметно возросла площадь с высокой обеспеченностью – на 25,1 %; появились почвы, в которых содержание органического вещества превышает 4,0 %.

Такие изменения обусловлены системным подходом к воспроизводству плодородия почв, в который входит насыщение структуры посевных площадей многолетними травами, а также использование разнообразных источников органического вещества – соломы, компостов и др.

Общеизвестно, что в условиях Вятско-Камской земледельческой провинции важным фактором, лимитирующим уровень урожайности, является кислая реакция, которая характерна для дерново-сильноподзолистых почв.

К 1981 г. в результате планомерного подхода к нейтрализации кислых почв, осуществляемого в 70–80 гг. XX века за счёт государственных средств, в рассматриваемом хозяйстве большую часть пашни (около 80 %) занимали близкие к нейтральным и нейтральные почвы (рис. 2).

подзолистых почв и управления эффективным плодородием, продуктивностью сельскохозяйственных культур и качеством продукции земледелия [2].

цесс подкисления почв при отсутствии известкования активно развивается, что необходимо учитывать при планировании системы удобрения в хозяйстве на будущие годы.

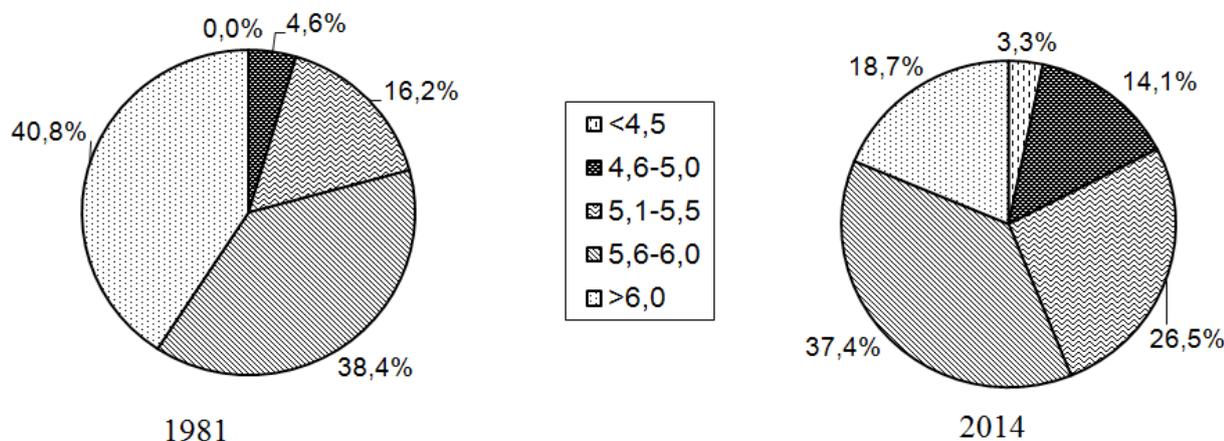


Рисунок 2 – Распределение площади пашни по кислотности (рНКС), % СХПК имени Мичурина, Удмуртская Республика

В СХПК имени Мичурина с 1987 по 1995 гг. силами предприятия известковали в среднем 100–330 га ежегодно [5]. В дальнейшем эти работы были также приостановлены. В связи с этим к 2014 г. произошло перераспределение площадей по кислотности. Так, появились сильнокислые почвы (5,4 %). Доля среднекислых почв возросла по сравнению с 1981 г. на 12,5 %, а слабокислых – на 31,8 %. На нейтральные и близкие к нейтральным почвы приходится 29,5 %. В целом состояние почв СХПК имени Мичурина по кислотности можно оценить как относительно благоприятное, так как преобладают слабокислые почвы, позволяющие получать высокие урожаи большинства сельскохозяйственных культур, однако про-

Ряд исследователей отмечает, что важнейшими агрохимическими показателями плодородия почв является содержание в них подвижных форм фосфора и калия, при этом разные авторы неоднозначно трактуют понятие «оптимального содержания» [22].

В Вятско-Камской земледельческой провинции по модели плодородия дерново-подзолистых почв для получения урожая зерна 3,0–3,5 т/га необходимо не менее 150 мг/кг подвижного фосфора, т.е. повышенное его содержание [13]. В СХПК имени Мичурина к 1982 г. более 60 % от площади пашни в хозяйстве занимали почвы, имеющие среднюю, низкую и очень низкую обеспеченность подвижным фосфором (рис. 3).

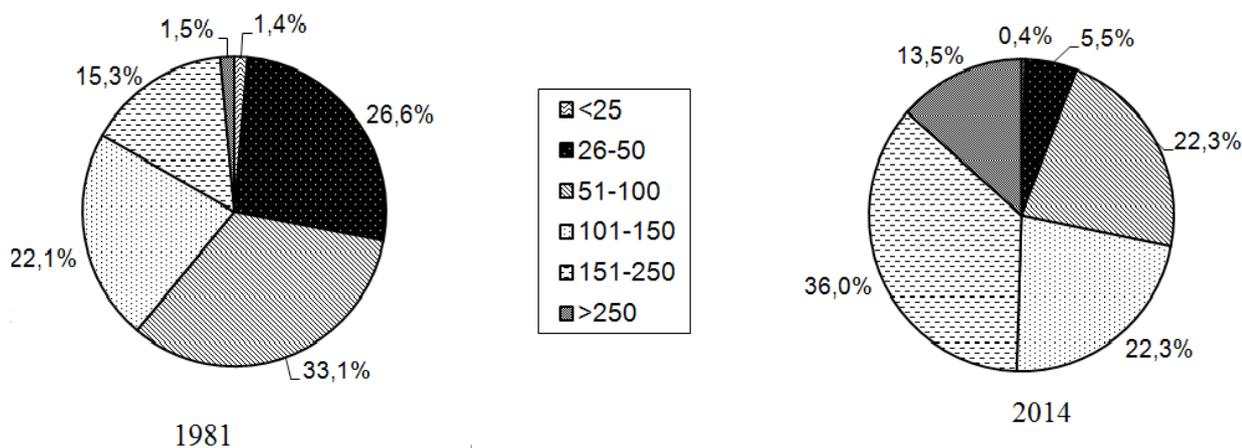


Рисунок 3 – Распределение площади пашни по содержанию подвижного фосфора, % СХПК имени Мичурина. Удмуртская Республика

В 80–90-х гг. XX века в СХПК имени Мичурина насыщенность 1 га пашни минеральными удобрениями составляла 70–90 кг д.в. Для этого периода такая насыщенность являлась относительно высокой. В это же время силами предприятия проводилось и фосфоритование на площади ежегодно от 130 до 220 га [5]. Как известно, этот приём обладает значительным последствием и способствует оптимизации фосфатного режима почв на долгие годы. К сожалению, после 2000 г. фосфоритование почв хозяйства было сведено к минимуму, а с 2004 г. полностью прекратилось.

По данным 2014 г., почвы хозяйства отличаются разнообразием по обеспеченности подвижным фосфором. Имеются почвы почти всех групп; преобладают почвы со средним и повышенным содержанием (53,4 %). Такой уровень позволяет получать относительно высокую урожайность зерновых культур, однако недостаточен для возделывания кормовых культур, таких, как кукуруза, отличающихся высокой требовательностью к уровню фосфорного питания.

В 1982 г. почвы СХПК имени Мичурина были плохо обеспечены подвижным калием: более 70 % площади приходилось на почвы с содержанием K_2O менее 120 мг/кг. При этом 46,5 % от общей площади пашни имели низкую и очень низкую обеспеченность этим элементом (рис. 4). В этот период мало внимания уделялось использованию калийных удобрений; в общем количестве вносимых минеральных удобрений доля калия составляла всего 20 %. Внешение соломы, которое могло бы способствовать улучшению калийного режима почв, в 80-е гг. XX века еще не вошло в широкую практику.

По данным 2014 г., обеспеченность почв хозяйства подвижным калием недостаточна. Так, преобладают почвы с низким и средним

содержанием, на долю которых приходится более 2/3 от площади пашни. Это говорит о низком поступлении данного элемента с удобрениями, несмотря на то, что в 2000-х гг. в хозяйстве практиковали внесение соломы, т.е. происходил возврат калия в почву. Возделывание культур с высокой потребностью в калии на больших площадях, в том числе многолетних трав, кукурузы, картофеля, привело к значительному истощению почв в отношении этого элемента питания. Можно сделать заключение, что к 2014 г. проблема калия в земледелии предприятия обострилась.

В таблице 2 представлена урожайность сельскохозяйственных культур в СХПК имени Мичурина за 20 последних лет. При внедрении адаптивно-ландшафтной системы земледелия, включающей разработанную систему удобрения и систему защиты сельскохозяйственных культур, уровень урожайности значительно возрос; в хозяйстве стабильно получают 3,7–5,3 т зерна с гектара, более 50 т/га картофеля, более 40 т/га зелёной массы кукурузы. Хозяйство полностью обеспечивает животноводство разнообразными кормами с высоким качеством.

В связи с относительно высоким уровнем урожайности сельскохозяйственных культур представляло интерес рассмотреть баланс органического вещества и элементов питания в данном предприятии за 20 последних лет (рис. 5–8).

Расчёты показали, что во все рассматриваемые годы баланс гумуса в СХПК имени Мичурина был положительным. Более того, с течением времени поступление органического вещества на гектар пашни возрастало и к 2005 г. положительный баланс составил 0,88 т/га. В условиях 2019 г. баланс органического вещества положительный; поступление составило 0,41 т/га.

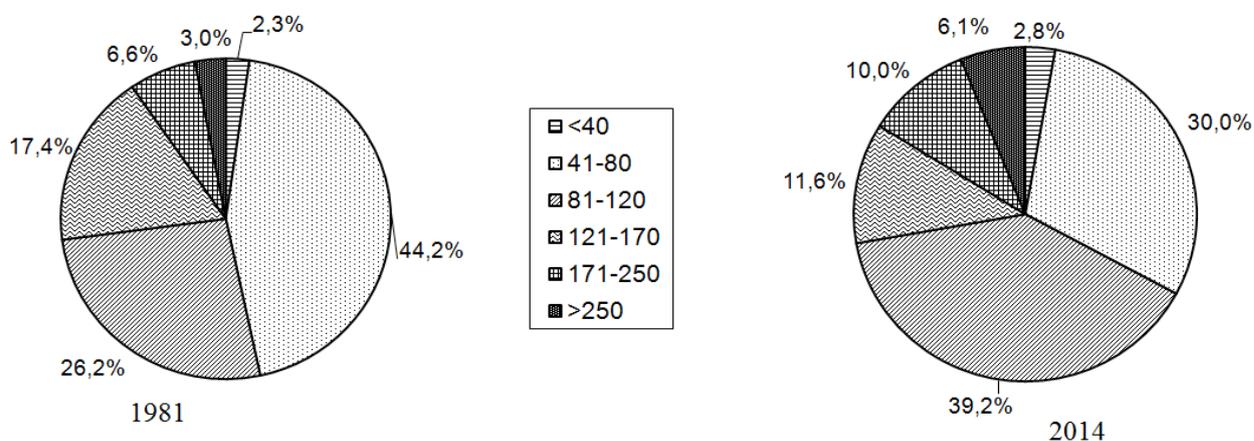


Рисунок 4 – Распределение площади пашни по содержанию подвижного калия, %. СХПК имени Мичурина, Удмуртская Республика

Таблица 2 – Урожайность сельскохозяйственных культур в СХПК имени Мичурина, т/га

Культура	Продукция	1990 г.	2015 г.	2019 г.
Озимая пшеница	зерно	–	2,73	3,70
Озимая рожь	зерно	2,73	2,59	3,86
Яровая пшеница	зерно	–	2,94	5,28
Ячмень	зерно	3,48	2,98	4,93
Овес	зерно	3,18	3,78	4,29
Горох	зерно	3,38	2,88	2,31
Картофель	клубни	17,9	30,3	55,8
Кукуруза	з/м	18,6	44,1	40,2
Однолетние травы	з/м	18,6	11,2	14,5
Многолетние травы	з/м	10,4	14,0	13,2
	сено	2,93	2,54	2,58
	семена	–	0,07	0,04

Планомерная работа предприятия по воспроизводству плодородия почв включала введение элементов биологизации севооборотов, и в первую очередь заделку соломы озимых зерновых культур. Также в хозяйстве с 90-х гг. XX столетия начали расширять площади, занятые многолетними травами (клевером луговым). При этом отава клеверов второго года пользования заделывалась в почву в качестве сидерального удобрения.

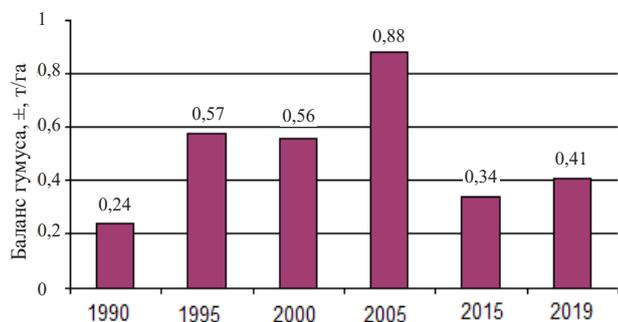


Рисунок 5 – Баланс органического вещества в почвах СХПК им. Мичурина

Все вышеуказанные приёмы и внедрение адаптивно-ландшафтной системы земледелия в целом способствовали значительному повышению урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с этим повышалось поступление в почву пожнивно-корневых остатков (ПКО), за счёт которых можно обеспечить сохранение и поддержание запасов органического вещества в почвах [19]. Доля поступления органического вещества в почвы хозяйства за счёт различных источников изменялась со временем. Так, в 1990 г. за счёт внесения навоза (компостов) в почву поступило 67,3 % гумуса. В 2019 г. этот показатель составил 42,2 % от общего поступления.

В балансе органического вещества большая роль принадлежит использованию сидеральных культур. До 2010 г. в хозяйстве практиковали заделку в почву отавы многолетних трав (клевера второго года пользования). К 2015 г. от использования отавы клевера в качестве сидерального удобрения отказались, а посевы второго года пользования после скашивания оставляли на семена. Такая технология принята и в настоящее время.

Одним из важных источников гумуса является солома. По данным И. В. Русаковой [18], на серых лесных почвах регулярная заделка соломы в почву, обеспечивающая возврат в пахотный слой ежегодно более 1 т органического углерода, способствовала повышению запасов гумуса, а также наиболее агрономически ценных фракций почвенного органического вещества. В исследованиях А. Х. Куликовой и др. [14] показано, что при использовании систем удобрения зернопарового севооборота при заделке в почву соломы формируется положительный среднегодовой баланс гумуса.

В 1990 г. в СХПК имени Мичурина ещё не практиковали внесение соломы. А с 1995 г. доля этого источника органического вещества планомерно возрастала и к 2005 г. составила 14 % от общего поступления гумуса. К 2015 г. объёмы внесения соломы несколько снизились, так как расширилось использование соломы на подстилку и в качестве грубого корма, однако этот источник также является существенным пополнением гумуса; в 2019 г. на его долю пришлось 5,7 % от общего поступления.

В настоящее время во многих сельскохозяйственных предприятиях Нечернозёмной зоны единственным источником образования гумуса являются пожнивно-корневые остатки

(ПКО). Их масса находится в прямой зависимости от урожайности сельскохозяйственных культур. Расчёт возможного поступления гумуса с ПКО в почву нами сделан по уравнениям регрессии, предложенным А. М. Лыковым [15]. Результаты показали, что при высоком насыщении пашни однолетними и многолетними травами ПКО являются крайне важным источником поступления органического вещества; в связи с высокой и стабильной урожайностью трав в СХПК имени Мичурина доля ПКО с течением времени колебалась в пределах 24,6–54,3 % от всей массы образовавшегося гумуса.

В настоящее время в хозяйствах Вятско-Камской земледельческой провинции, в том числе и Удмуртской Республики, невозможно рассчитывать на значительное увеличение внесения навоза и компостов, так как эти работы слишком затратны. Однако следует рекомендовать увеличить применение соломы и посев сидеральных культур, иначе произойдет истощение плодородия почв на многих тысячах гектаров пашни.

При расчете баланса элементов питания в почвах СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики использовались данные по выносу элементов питания и содержанию их в различных органических удобрениях.

В 1990 г. баланс азота был положительным (рис. 6); основным источником являлись органические удобрения.

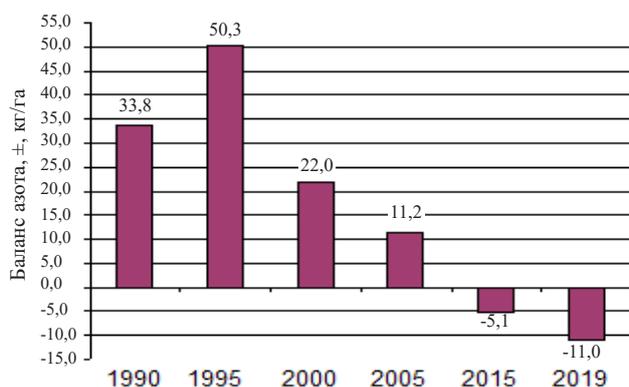


Рисунок 6 – Баланс азота в земледелии СХПК имени Мичурина, кг/га

То же характерно и для 1995 г., причём поступление азота в почву значительно возросло. В этом году интенсивность баланса азота составила более 200 %, что связано в том числе и с относительно низкой урожайностью в этом году. Следует отметить: такое превышение поступления над выносом не является рациональным, так как в этом случае мож-

но предположить значительные потери азота из почвы. Даже для почв с низким уровнем плодородия многие исследователи рекомендуют поддерживать уровень интенсивности баланса в пределах 120–130 % [3].

Как было указано выше, в хозяйстве уделяется значительное внимание внедрению элементов биологизации земледелия; в частности, в структуре посевных площадей более 50 % отводится на многолетние травы (клевер луговой). За счёт этого в поступлении азота возросла доля биологической составляющей статьи баланса: в 1990 г. доля биологического азота составила всего 3,8 %, а к 2019 г. этот показатель увеличился до 8,5 %.

Однако интенсивность баланса азота по годам снизилась и в 2015 и 2019 гг. составила 93 и 87 % соответственно; баланс азота отрицательный.

В то же время для современных условий дефицит этого элемента питания относительно небольшой; можно предположить, что в этих условиях потери минимальны, и каждый внесённый килограмм азота используется растениями и «работает на урожай».

В среде сельхозпроизводителей распространено ошибочное мнение о низкой окупаемости фосфорных удобрений. Это приводит к недооценке роли фосфора в формировании урожайности и зачастую к прямому отказу от использования фосфорсодержащих туков. Однако длительные исследования показывают, что агрономическая окупаемость в последствии во много раз превышает окупаемость в год внесения [24, 25]. Поэтому баланс фосфора должен быть положительным и превышать поступление с большим запасом [6].

На рисунке 7 показан расчет баланса фосфора в почвах СХПК им. Мичурина по годам. В 1990 г. интенсивность баланса этого важнейшего элемента составляла 124 %, что связано с невысоким выносом урожайности. В последующие годы поступление фосфора в почву также превышало вынос. Основным источником фосфора было внесение навоза и компостов, на долю которых приходилось 60–70 % от общего количества внесённого фосфора. Эта тенденция продолжилась и в последующие годы.

Однако уже в 2005 г. баланс фосфора был отрицательным, и к 2019 г. поступление этого элемента по отношению к выносу составило 73 %. В связи с низкими коэффициентами использования фосфора из удобрений для дерново-подзолистых почв Удмуртской Ре-

спублики рекомендовано поддержание интенсивности баланса более 100 %, даже на почвах с высокой и очень высокой обеспеченностью этим элементом [6].

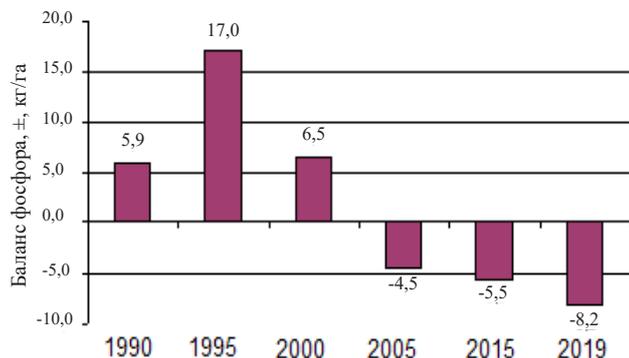


Рисунок 7 – Баланс фосфора (P_2O_5) в земледелии СХПК им. Мичурина, кг/га

Для получения стабильных урожаев приходные статьи по фосфору должны превышать расходные в 1,5–2 раза, так как фосфор имеет свойство закрепляться в почве и становится недоступным растениям. По данным В. И. Усенко и др. [3], систематическое использование соломы даже на выщелоченном чернозёме при фактическом отказе от фосфорных удобрений не решит проблему получения положительного баланса фосфора; для формирования интенсивности баланса 130–180 % необходимо ежегодное внесение P_{20-25} . Поэтому для СХПК имени Мичурина в последующие годы можно рекомендовать повысить долю внесения фосфора с минеральными удобрениями, в основном за счёт использования комплексных фосфорсодержащих форм. Следует также рассмотреть вопрос использования фосфоритования, которое не потеряло значения и в современных условиях, как это отмечают многие исследователи [23].

Введение использования соломы является важным приёмом, способствующим сбережению почвенных ресурсов калия. Однако, несмотря на постоянное внесение соломы озимых культур в почву, баланс калия в СХПК им. Мичурина (рис. 8) во все годы наблюдений получен отрицательный, за исключением 1995 г., когда интенсивность баланса калия составила 105 %, что приближено к нулевому. В поступлении калия главная роль принадлежала органическим удобрениям (навоза, компостов), на долю которых в 1990–2005 гг. приходилось от 66 до 77 %. Лишь к 2015 г. доля внесения калия с минеральными удобрениями возросла до 53 %, а в 2019 г. снова снизилась до 41,5 %. По данным этого года, интенсивность баланса составила всего 36 %.

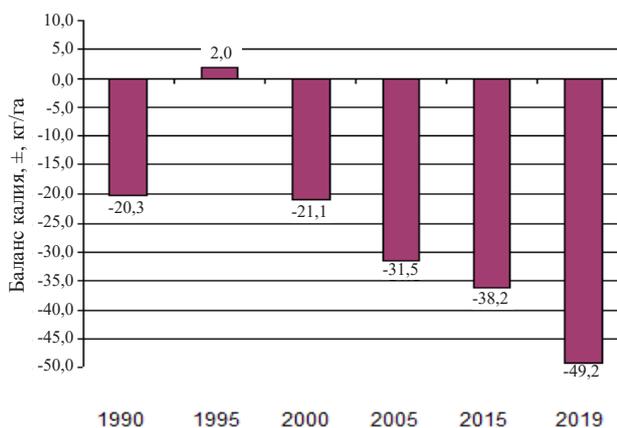


Рисунок 8 – Баланс калия в почвах СХПК им. Мичурина (1990–2015 гг.)

В хозяйстве на больших площадях возделывают культуры с высоким выносом калия – многолетние и однолетние травы, кукурузу, картофель, а в последние годы и кормовые корнеплоды. По данным В. И. Титовой [21], систематическое внесение навоза может привести к отрицательному балансу калия в почве, особенно в севооборотах с высоким долевым участием трав. Даже с учётом того, что солому зерновых культур в СХПК им. Мичурина ежегодно вносят как органическое удобрение, и вынесенный с соломой калий возвращается при этом в почву, показатели интенсивности баланса по этому элементу неудовлетворительны. Проблема отрицательного баланса калия характерна для всей России. Для сохранения достаточного уровня содержания подвижного калия в почвах СХПК имени Мичурина можно рекомендовать повысить долю его внесения с минеральными удобрениями; предпочтительнее использовать комплексные удобрения, содержащие калий.

Таким образом, в настоящее время в условиях сельскохозяйственного производства крайне трудно поддерживать положительный баланс элементов питания. Даже в относительно благополучных по финансовому состоянию хозяйствах, таких, как СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики, с использованием относительно высокой насыщенности органическими удобрениями (более 5 т/га), в последние годы баланс азота приближен к нулевому, а фосфора и калия – отрицательный.

Согласно представленным показателям интенсивности производства, СХПК имени Мичурина производит достаточно основных видов сельскохозяйственной продукции (зерна, картофеля, молока и мяса) с низкой себестоимостью (табл. 3).

Таблица 3 – Интенсивность сельскохозяйственного производства в СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики

Показатели	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Произведено на 100 га с.-х. угодий, т			
Молоко	129,6	138,8	159,9
Мясо (живой вес)	8,55	9,83	9,93
Произведено на 100 га пашни, т			
Зерно	111,9	111,9	118,5
Картофель	3,5	3,5	2,3
Количество энергоресурсов в расчете на 1 га с.-х. угодий			
Лошадиные силы	3,39	3,34	3,25
Внесено на 1 га пашни			
Всех органических удобрений, т	5,7	5,5	5,6
Минеральных удобрений	64,8	62,8	60,3
Расход горючего на 1 эталонный гектар			
Горючее, кг	4,23	4,2	4,23
Себестоимость 1 кг в рублях			
Зерно	5,28	5,13	5,09
Картофель	5,63	4,84	4,58
Молоко	16,56	17,0	16,72
Мясо КРС	78,52	84,79	89,28
Мясо свинины	88,97	94,63	96,15

Е. В. Просяников подчеркнул, что оценка величины продуктивности земли зависит во многом от организационно-экономических условий и агротехнологий, а также от воспитания экологического мышления и развития экологического действия у всех участников аграрного производства [17]. В этой связи важно отметить, что колхоз (СХПК) имени Мичурина является базой для проведения учебных практик студентов аграрных вузов, а также научных исследований в области сельскохозяйственного производства; здесь ежегодно проводятся научно-практические конференции, семинары, Дни поля, причём как республиканского, так и регионального уровня.

Выводы:

1. В условиях сельскохозяйственного производства на примере СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики при насыщенности 1 га пашни органическими удобрениями 2,1–5,7 т, минеральными удобрениями – 48–65 кг д.в. и уровне урожайности зерна 3,7–5,3 т/га, складывается положительный баланс гумуса, однако близкий к нулевому, и отрицательный баланс азота, фосфора и калия. В связи с этим такая насыщенность минеральными удобрениями недостаточна для получения рационального баланса элементов питания в адаптивно-ландшафтном земледелии Вятско-Камской земледельческой провинции.

2. Внедрение адаптивно-ландшафтной системы земледелия в СХПК имени Мичурина, в том числе насыщение севооборотов многолетними травами (более 50 % в структуре посевных площадей), внесение соломы, использование интегрированной системы защиты растений и др. способствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур, воспроизводству плодородия дерново-сильнопodzolistых почв и в целом высокой рентабельности сельскохозяйственного производства для условий Вятско-Камской земледельческой провинции.

Список литературы

1. Агроклиматический справочник по Удмуртской АССР. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1961. – 116 с.
2. Иванов, А. И. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья / А. И. Иванов, А. А. Конашенков, В. А. Воробьев [и др.] // Агрохимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 3–9.
3. Усенко, В. И. Баланс фосфора и обеспеченность им выщелоченного чернозёма в зависимости от севооборота, приёмов обработки и удобрений в лесостепи Алтайского Приобья / В. И. Усенко, С. В. Усенко, Т. А. Литвинцева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 10. – С. 14–17.
4. Башков, А. С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья: монография / А. С. Башков. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 328 с.
5. Капеев, В. А. Влияние адаптивной системы земледелия на продуктивность дерново-сильнопodzolistых почв

золистых почв в условиях Среднего Предуралья: монография / В. А. Капеев [и др.]. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 191 с.

6. Дерюгин, И. П. Агрохимические основы применения удобрений и повышения плодородия почв Удмуртской АССР / И. П. Дерюгин, А. И. Безносков, А. С. Башков. – Ижевск: Удмуртия, 1987. – 164 с.

7. Дзюин, Г. П. Модели адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Вятско-Камской ландшафтной провинции: монография / Г. П. Дзюин, А. Г. Дзюин. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 279 с.

8. Завалин, А. А. Современное состояние использования азота в мировом земледелии / А. А. Завалин // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах: м-лы Междунар. научной конференции. – М., 2018. – С. 46–54.

9. Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в Нечернозёмной зоне Европейской части России: практическое руководство / Под ред. Л. М. Державина. – М.: ВНИИА, 2005. – 160 с.

10. Ионас, В. А. Методические указания по составлению баланса гумуса в пахотных дерново-подзолистых почвах Белорусской ССР / В. А. Ионас, С. С. Барсуков, А. П. Давыдов. – Горки: БГСХА, 1985. – 24 с.

11. Кирюшин, В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства / В. И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 3. – С. 5–10.

12. Козлова, Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации / Л. М. Козлова // Достижения науки и техники АПК, 2019. – Т. 33. – № 3. – С. 6–9.

13. Ковриго, В. П. Почвы Удмуртской Республики: монография / В. П. Ковриго. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.

14. Куликова, А. Х. Влияние удобрений на содержание и баланс гумуса в чернозёме, выщелоченном при возделывании культур в зернопаровом севообороте / А. Х. Куликова, С. Н. Никитин, Г. В. Сайдышева // Агрохимия. – 2017. – № 12. – С. 7–15.

15. Лыков, А. М. Воспроизводство плодородия почвы Нечернозёмной зоны / А. М. Лыков. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 143 с.

16. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. – М.: Колос, 1983. – 336 с.

17. Просяников, Е. В. Агрохимические аспекты устойчивого земледелия / Е. В. Просяников // Агрохимический вестник. – 2019. – № 5. – С. 13–17.

18. Русакова, И. В. Воспроизводство плодородия почв на основе использования возобновляемых биоресурсов / И. В. Русакова // Агрохимический вестник. – 2013. – № 4. – С. 7–13.

19. Сабитов, М. М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности

зерновых культур / М. М. Сабитов // Агрохимический вестник. – 2019. – № 5. – С. 50–54.

20. Бортник, Т. Ю. Состояние плодородия почв и продуктивность зерновых культур в СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики / Т. Ю. Бортник, А. С. Башков, В. А. Капеев, Б. Б. Борисов // Вестник Ижевской ГСХА. – 2019. – № 3. – С. 24–35.

21. Титова, В. И. Особенности системы применения удобрений в современных условиях / В. И. Титова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 1. – С. 2–7.

22. Чекмарёв, П. А. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области / П. А. Чекмарёв, С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 2. – С. 5–9.

23. Гаврилов, А. Ю. Эффективное использование органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области / А. Ю. Гаврилова, А. М. Конова, И. В. Понкратенкова [и др.] // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.: м-лы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. 16–17 апреля 2018 г. – М.: ВНИИА, 2018. – С. 63–72.

24. Djalma, M. Gomes de Sousa. Long Term experiments with reactive phosphate rocks for grain crops in cerrado soils / Djalma M. Gomes de Sousa, Thomaz A. Rein, Rafael de Sousa Nunes, Joao de Deus G.S. junior // 16th World Fertilizer Congress of CIEC. – 2016. – Pg. 58–61.

25. Morel, C. Modeling of phosphorous dynamics in contrasting agroecosystems using long-term field experiments / C. Morel [et al.] // Canadian Journal of Soil Science. – 2014. – Vol. 94. – № 3. – P. 377–387.

Spisok literatury

1. Agroklimaticheskij spravochnik po Udmurtskoj ASSR. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961. – 116 с.

2. Ivanov, A. I. Aktual'nye voprosy izvestkovaniya kisl'nykh pochv Nечернозем'ya / A. I. Ivanov, A. A. Konashenkov, V. A. Vorob'yov [i dr.] // Aгrohimicheskij vestnik. – 2019. – № 6. – С. 3–9.

3. Usenko, V. I. Balans fosfora i obespechennost' im vyshchelochennogo chernozyoma v zavisimosti ot sevooborota, priyomov obrabotki i udobrenij v lestostepi Altajskogo Priob'ya / V. I. Usenko, S. V. Usenko, T. A. Litvinceva [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2019. – Т. 33. – № 10. – С. 14–17.

4. Bashkov, A. S. Povyshenie effektivnosti udobrenij na dernovo-podzolistykh pochvah Srednego Predural'ya: monografiya / A. S. Bashkov. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2013. – 328 с.

5. Kapееv, V. A. Vliyanie adaptivnoj sistemy zemledeliya na produktivnost' dernovo-sil'nopodzolistykh pochv v usloviyah Srednego Predural'ya: monografiya / V. A. Kapееv, A. S. Bashkov, I. SH. Fatyhov [i dr.]. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2010. – 191 с.

6. Deryugin, I. P. *Agrohimicheskie osnovy primeneniya udobrenij i povysheniya plodorodiya pochv Udmurtskoj ASSR* / I. P. Deryugin, A. I. Beznosov, A. S. Bashkov. – Izhevsk: Udmurtiya, 1987. – 164 s.
7. Dzyuin, G. P. *Modeli adaptivno-landshaftnyh sistem zemledeliya v Vyatsko-Kamskoj landshaftnoj provincii: monografiya* / G. P. Dzyuin, A. G. Dzyuin. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2010. – 279 s.
8. Zavalin, A. A. *Sovremennoe sostoyanie ispol'zovaniya azota v mirovom zemledelii* / A. A. Zavalin // *Dinamika pokazatelej plodorodiya pochv i kompleks mer po ih regulirovaniyu pri dlitel'nom primenenii sistem udobreniya v raznyh pochvenno-klimaticheskikh zonah: m-ly Mezhdunar. nauchnoj konferencii.* – M., 2018. – S. 46–54.
9. *Integrirovannoe primeneniye udobrenij v adaptivno-landshaftnom zemledelii v Nechernozymnoj zone Evropejskoj chasti Rossii: prakticheskoe rukovodstvo* / Pod red. L. M. Derzhavina. – M.: VNIIA, 2005. – 160 s.
10. Ionas, V. A. *Metodicheskie ukazaniya po sostavleniyu balansa gumusa v pahotnyh dernovo-podzolistykh pochvah Belorusskoj SSR* / V. A. Ionas, S. S. Barsukov, A. P. Davydov. – Gorki: Izd.-vo BGSKHA, 1985. – 24 s.
11. Kiryushin, V. I. *Nauchno-innovacionnoe obespechenie prioritetov razvitiya sel'skogo hozyajstva* / V. I. Kiryushin // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2019. – T. 33. – № 3. – S. 5–10.
12. Kozlova, L. M. *Produktivnost' i balans osnovnyh pitatel'nyh elementov v sevooborotah pri razlichnykh urovnnyah intensivkacii* / L. M. Kozlova // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2019. – T. 33. – № 3. – S. 6–9.
13. Kovrigo, V. P. *Pochvy Udmurtskoj Respubliki: monografiya* / V. P. Kovrigo. – Izhevsk: Izhevskaya GSKHA, 2004. – 490 s.
14. Kulikova, A. H. *Vliyanie udobrenij na sodержanie i balans gumusa v chernozyome vyshchelochennom pri vozdeleyvanii kul'tur v zernoparovom sevooborote* / A. H. Kulikova, S. N. Nikitin, G. V. Sajdyasheva // *Agrohimiya.* – 2017. – № 12. – S. 7–15.
15. Lykov, A. M. *Vosproizvodstvo plodorodiya pochvy Nechernozymnoj zony* / A. M. Lykov. – M.: Rossel'hozizdat, 1982. – 143 s.
16. *Prirodno-sel'skohozyajstvennoe rajonirovanie i ispol'zovanie zemelnogo fonda SSSR.* – M.: Kolos, 1983. – 336 s.
17. Prosyannikov, E. V. *Agrohimicheskie aspekty ustojchivogo zemledeliya* / E. V. Prosyannikov // *Agrohimicheskij vestnik.* – 2019. – № 5. – S. 13–17.
18. Rusakova, I. V. *Vosproizvodstvo plodorodiya pochv na osnove ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh biosursov* / I. V. Rusakova // *Agrohimicheskij vestnik.* – 2013. – № 4. – S. 7–13.
19. Sabitov, M. M. *Vliyanie mnogoletnih trav na povysenie plodorodiya pochv i produktivnosti zernovykh kul'tur* / M. M. Sabitov // *Agrohimicheskij vestnik.* – 2019. – № 5. – S. 50–54.
20. Bortnik, T. YU. *Sostoyanie plodorodiya pochv i produktivnost' zernovykh kul'tur v SKHPK imeni Michurina Vavozhskogo rajona Udmurtskoj Respubliki* / T. YU. Bortnik, A. S. Bashkov, V. A. Kapeev, B. B. Borisov // *Vestnik Izhevskoj GSKHA.* – 2019. – № 3. – S. 24–35.
21. Titova, V. I. *Osobennosti sistemy primeneniya udobrenij v sovremennykh usloviyah* / V. I. Titova // *Agrohimicheskij vestnik.* – 2016. – № 1. – S. 2–7.
22. CHEkmaryov, P. A. *Monitoring sodержaniya podvizhnykh form fosfora i kaliya v pahotnykh pochvah Belgorodskoj oblasti* / P. A. CHEkmaryov, S. V. Lukin // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* – 2020. – T. 34. – № 2. – S. 5–9.
23. Gavrilov, A. YU. *Effektivnoe ispol'zovanie organicheskikh i mineral'nykh udobrenij na dernovo-podzolistykh pochvah Smolenskoj oblasti* / A. YU. Gavrilova, A. M. Konova, I. V. Ponkratenkova [i dr.] // *Itogi vypolneniya programmy fundamental'nykh nauchnykh issledovanij gosudarstvennykh akademij na 2013–2020 gg.: m-ly Vserossijskogo koordinacionnogo soveshchaniya nauchnykh uchrezhdenij-uchastnikov Geograficheskoi seti opytov s udobreniyami.* 16–17 aprelya 2018 g. – M.: VNIIA, 2018. – S. 63–72.
24. Djalma, M. Gomes de Sousa. *Long Term experiments with reactive phosphate rocks for grain crops in cerrado soils* / Djalma M. Gomes de Sousa, Th. A. Rein, Rafael de Sousa Nunes, Joao de Deus G. S. // *16th World Fertilizer Congress of CIEC.* – 2016. – P. 58–61.
25. Morel, C. *Modeling of phosphorous dynamics in contrasting agroecosystems using long-term field experiments* / C. Morel [et al.] // *Canadian Journal of Soil Science.* – 2014. – Vol. 94. – № 3. – P. 377–387.

Сведения об авторах:

Бортник Татьяна Юрьевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: agrohim@izhgsha.ru).

Башков Александр Степанович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426033, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: agrohim@izhgsha.ru).

Капеев Владимир Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, директор, колхоз (СХПК) имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики (427328, Российская Федерация, Вавожский район, дер. Зямбайгурт, ул. Верхняя, 1 А, e-mail: shpkmich@mail.ru).

Борисов Борис Борисович – главный агроном, колхоз (СХПК) имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики (427328, Российская Федерация, Вавожский район, дер. Зямбайгурт, ул. Верхняя, 1 А, e-mail: shpkmich@mail.ru).

T. Yu. Bortnik¹, A. S. Bashkov¹, V. A. Kapreyev², B. B. Borisov²

¹Izhevsk State Agricultural Academy

²Kolkhoz (APC) after Michurin, Vavozhsky District, Udmurt Republic

THE BALANCE OF ORGANIC MATTER AND NUTRIENTS UNDER THE CONDITIONS OF AGRICULTURAL PRODUCTION ON THE SOD-PODZOLIC SOILS IN THE VYATKA-KAMA AGRICULTURAL PROVINCE

In modern conditions, the APC after Michurin, Vavozhsky District, Udmurt Republic, is one of the highly profitable agricultural enterprises. In the land farming of the enterprise there are prevailing the sod-strongly-podzolic soils that are typical for the conditions of the Vyatka-Kama agricultural province. The enterprise introduced an adaptive-landscape land farming system, thus involving the structure of sowing areas with more than 50 % of perennial grasses. Regular work on the soil refertility was carried out during 1981–2019. By 2019, the arable land saturation with organic fertilizers had reached 5.6 t/ha; with minerals – about 60 kg of active substance / ha. The arable land is dominated by soils with an organic matter content exceeding 2.5 %, and it makes 79 %. To slightly acidic, close to neutral and evidently neutral soils, 77.5 % of the area of arable land is referred to. The level of soil supply with mobile phosphorus allows a high yield of grain crops; soils with an average and high content of this element are prevailing (53.4 %). At the same time, the availability of soils provision with mobile potassium is insufficient; soils with low and medium contents account for more than 2/3 of the area of the arable land as a whole. The enterprise obtains sustainable high grain yield – up to 3.7–5.3 t/ha; potatoes – more than 50 t/ha, green mass of corn – more than 40 t/ha. Under these conditions, a positive balance of organic matter is being formed for the soils; however, the balance of the main nutrients remains zero and even negative. In 2019, the nitrogen balance intensity was 87 %; phosphorus – 73 % and potassium – 36 %. The indicators of the APC's production intensity allow to regard the enterprise as a highly profitable one.

Key words: *refertility; sod-podzolic soils; yield; balance; organic matter; nutrients.*

Authors:

Bortnik Tatiana Yurievna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Agrochemistry and Soil Science, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirova St., Izhevsk, 426033, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: agrohim@izhgsha.ru).

Bashkov Aleksandr Stepanovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Agrochemistry and Soil Science, Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirova St., Izhevsk, 426033, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: agrohim@izhgsha.ru).

Kapreyev Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Agricultural Sciences, Director, Kolkhoz (APC) after Michurin (1 A, Verkhnyaya St., vil. Zyamygurt, 427328, Vavozhsky district, Russian Federation, e-mail: shpkmich@mail.ru).

Borisov Boris Borisovich – main agriculturist, Kolkhoz (APC) after Michurin (1 A, Verkhnyaya St., vil. Zyamygurt, 427328, Vavozhsky district, Russian Federation, e-mail: shpkmich@mail.ru).

УДК 631.371:633.521

DOI 10.48012/1817-5457_2021_1_33

И. В. Бадретдинова, Е. А. Воронцова, В. В. Касаткин, А. Б. Спиридонов
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ДЕСТРУКЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПЛЕКСА ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА

*В настоящее время существует необходимость поиска наиболее эффективных и экономичных способов обработки волокнистых материалов, в том числе отходов, полученных после первичной переработки лубяных культур. Анализ существующих методов модификации льняного волокна показал, что наиболее перспективными являются биологические методы деструкции. Исследования направлены на активизацию жизнедеятельности естественной микрофлоры стебля льна, создание благоприятных условий ее жизнедеятельности в цеховых условиях с целью последующей деструкции пектиновых веществ и гемицеллюлозы в льноволокне. В связи с этим был экспериментально исследован метод биодеструкции целлюлозного комплекса льняного волокна. Были выявлены биопрепараты, отличающиеся уровнем активности по отношению к биополимерам льняного комплекса (гемицеллюлозам, пектину и др.) – бактерии клостридии, принадлежащие к виду *C. felsineum* и *C. Pectinovorum*, которые являются катализаторами процесса деструкции. В результате экспериментально выявлено, что активное развитие и жизнедеятельность микробных культур в течение первых двух недель привело к потере 18,2–18,8 % массы волокон и резкому снижению разрывных нагрузок волокон на 57–71 %.*

Ключевые слова: *льняное волокно; целлюлоза; гемицеллюлоза; маслянокислое брожение; бактерии; биодеструкторы; естественный комплекс микрофлоры.*

Актуальность. Деструкция целлюлозного комплекса льняного волокна приводит к распаду короткого волокна на элементарные волокна. Элементарные волокна длиной от 2,5 до 120 мм ориентированы вдоль стебля, имеют заостренную с обоих концов форму и внутри замкнутый со всех сторон канал [1–3]. Склеенные по граням элементарные волокна образуют пучки технических волокон. Элементарные волокна сдвинуты вдоль пучка и их утоненные концы как бы вклиниваются между соседними. Местами волокнистые пучки (технические волокна) склеиваются между собой, образуя сетчатую структуру (анастомоз). От целлюлозного комплекса зависят физико-механические свойства льняного и хлопкового волокна, представленные в таблице 1. Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод о том, что высокая степень полимеризации целлюлозы льняного волокна обеспечивает ему высокие прочностные характеристики.

Таблица 1 – Физико-механические свойства льняного и хлопкового волокна

№ п/п	Физико-механические свойства	Лен	Хлопок
1.	Удельная прочность, сН/текс	24–70	20–35
2.	Удлинение, %	2–3	6–8
3.	Степень полимеризации	36 000	10 000
4.	Молекулярная масса	$5,9 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$

Волокно льна распрямлено, кристаллиты целлюлозы высоко ориентированы в структуре волокна, поэтому льняное волокно мало удлиняется при нагружении [4].

Основным веществом, из которого состоят клеточные стенки волокон, является целлюлоза. Целлюлоза никогда не содержится в клеточных стенках в чистом виде, ей всегда сопутствует некоторое количество других веществ. Содержание целлюлозы в льняном волокне, по данным разных источников, колеблется в пределах 65–85 % (табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав льняного и хлопкового волокна, %

№ п/п	Составляющие волокно	Лен	Хлопок
1.	Целлюлоза	71,2	91,8
2.	Гемицеллюлоза	18,6	–
3.	Пектин	2,8	6,4
4.	Лигнин	2,2	0,7
5.	Воскообразные	1,7	0,7

Целлюлоза представляет собой высокомолекулярное соединение. Макромолекула целлюлозы построена из большого числа повторяющихся структурных звеньев – остатков Д-галапиранозы, повернутых относительно друг друга на 180° и соединенных 1,4-гликозидной связью. Химический состав целлюлозы соответствует формуле $C_6H_{10}O_5$ [5–6, 9]. Строение макромолекулы целлюлозы изображается с помощью формулы Хеурса (рис. 1).

Степень полимеризации целлюлозы, по различным данным, колеблется в пределах 12 000–35 000. Макромолекулы, взаимодействуя между собой межмолекулярными силами, которыми являются силы Ван-дер-Ваальса, и водородные связи образуют кристаллиты. Силы Ван-дер-Ваальса имеют электростатический характер и возникают между любыми молекулами. Водородные связи возникают только тогда, когда атом водорода непосредственно связан в молекуле с сильным электроотрицательным атомом (O, N, B, Cl, F) [6, 9].

Известно, что энергия водородных связей в целлюлозе во много раз превышает энергию связи сил Ван-дер-Ваальса и достигает, по разным данным, в среднем 25–30 кДж/моль. В каждом элементарном звене целлюлозы (рис. 1) содержится три гидроксильные группы, и все они участвуют в образовании водородных связей.

Инфракрасное спектроскопическое исследование показало важную роль водородных связей в процессе стабилизации структуры фибрилл.

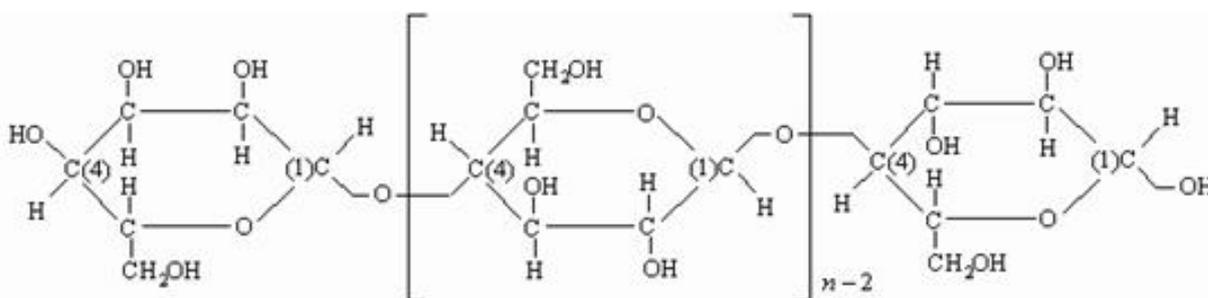


Рисунок 1 – Формула целлюлозы Хеурса

От степени упорядоченности пучков зависят и механические свойства: высокая степень кристалличности способствует большей прочности на разрыв, в то время как беспорядочное переплетение цепей обуславливает значительную эластичность и гибкость [7, 8].

Согласно принятой модели строения, микрофибриллы целлюлозы покрыты слоем гемицеллюлоз. Термин «гемицеллюлоза» фактически относится к несколько неопределенному классу полисахаридов, которые наряду с лигнином сопутствуют целлюлозе в растительных тканях. Гемицеллюлозы, образуя водородные связи с целлюлозой, находятся в аморфном состоянии и повышают подвижность фибриллярной структуры целлюлозы.

Кроме гемицеллюлоз льняное волокно содержит также несколько процентов пектиновых веществ. Пектин представляет собой разветвленный полиуглеводный комплекс. Пектины, по видимому, играют роль цементирующего материала, из которого образуется общая часть клеточных структур. Известно, что большая часть пектиновых веществ расположена в срединных пластинках (матриксе), т.е. целлюлозные фибриллы погружены в пластический матрикс, состоящий из пектина, гемицеллюлоз, а также некоторого количества белков [4–6]. По мере старения клетки число целлюлозных фибрилл увеличивается. В результате этого утрачивается пластичность, а в межфибрилярном пространстве накапливается лигнин.

Лигнин представляет собой разветвленный полимер, макромолекулы которого построены из фенилпропановых структурных единиц. Химическая структура лигнина (или лигнинов) раскрыта в недостаточной степени, хотя Фрейденберг доказал, что лигнин представляет собой продукт конденсации кониферилового спирта и подобных ароматических мономеров. Однако Норд показал, что возможны и другие источники лигнина. Это может служить свидетельством того, что лигнины – целый класс веществ, имеющих в основе ароматические блоки [9].

Считается, что лигнин в растительной ткани служит своего рода основным связывающим материалом. При этом он не участвует в обмене. Большая часть лигнина находится в межфибрилярном пространстве, что свидетельствует о том, что он вместе с пектиновыми веществами и гемицеллюлозами обеспечивает образование прочной поперечносвязанной структуры.

Модификация льноволокна заключается в более интенсивной очистке, истончении

и разрушении сложных, в основном длинных, волокон. В связи с расширением производства льносодержащих смешанных тканей, произведенных из более дешевого модифицированного льняного сырья с использованием более производительной и более дешевой технологии, в настоящее время существует необходимость поиска наиболее эффективных и экономичных способов обработки волокнистых материалов. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования разрушения целлюлозного комплекса льняного волокна биологическим методом [1, 9].

Биопроцессы отличает экологическая чистота, сравнительно низкие энергетические затраты и возможность получения изделий повышенного качества. В связи с этим тема исследования является актуальной.

Целью исследований является изучение влияния естественного комплекса микрофлоры на деструкцию пектиновых веществ и гемицеллюлозы в коротком льноволокне.

Материалы и методы. В работе были исследованы особенности состава и структуры волокон льна как объектов воздействия микробных культур, приведены сведения о динамике изменения содержания природных примесей (пектиновых веществ, гемицеллюлоз, лигнина) в условиях культивирования индивидуальных микробных культур и естественного комплекса микрофлоры.

В качестве объектов исследования использовали льноволокно короткое: № 2, № 4, № 6 (ГОСТ 9394-76).

Для культивирования естественного комплекса микрофлоры был изготовлен препарат живых бактерий *Clostridium pectinovorum*. Для этого необходимо пинцетом отжать из снопика на предметное стекло каплю жидкости, окрасить ее раствором йода, накрыть стеклом и рассмотреть под микроскопом с иммерсионной системой. Бактерии *Clostridium pectinovorum* можно рассматривать при фиксации и окраске. Они имеют плектридиальную форму [3].

Заражение биодеструкторами предварительно стерилизованных исследуемых объектов осуществляли путем пропитки последних в смывах, полученных перенесением в физиологический раствор МК. При культивировании естественного комплекса микрофлоры образцы не подвергали предварительной стерилизации и последующему искусственному заражению [8].

Культивирование микрофлоры на исследуемых объектах обеспечивали выдерживанием

их в термостате ТС-80-2М при 29 °С и влажности 98–100 % в течение 28–56 суток. Отбор образцов на анализ осуществляли с интервалом 7–14 суток.

При микроскопическом исследовании бактерий маслянокислого брожения использовали метод висячей капли и метод фиксации с окраской фуксином. Каплю жидкости перенесли стеклянной трубочкой со дна высокой пробирки (маслянокислое брожение происходит в анаэробных условиях). Один из главных возбудителей маслянокислого брожения – бактерия *Clostridium pasteurianum*. Эта подвижная палочка в период спорообразования приобретает форму веретена вследствие того, что спора образуется в середине клетки [7].

После брожения, вынимая из пробирки образцы, выяснилось, что лубяные волокна легко отделяются от других тканей – это результат жизнедеятельности бактерии разложения пектиновых веществ.

Результаты исследования. Количественно процесс разрушения волокон оценивали по потере их массы (рис. 2), изменению содержания природных примесей – компонентов лигно-углеводного комплекса и физико-механических показателей (рис. 3). Содержание кислотонерастворимого лигнина определяли гидролизно-объемным и сернокислотным методами.

Пектиновые вещества (рис. 4) и гемицеллюлозы (рис. 5) контролировали традиционными методами, соответственно, объемно-аналитическим и объемным Вильштеттера и Шудля.

Развитие микробных культур в течение первых двух недель приводит к потере 18,2–18,8 % массы волокон и резкому снижению разрывных нагрузок волокон на 57–71 %.

Разрывные нагрузки одиночных льноволокна определяли соответственно на разрывных машинах ЕМ-27 и РМ-30-1. Для каждого образца рассчитывали среднее значение.

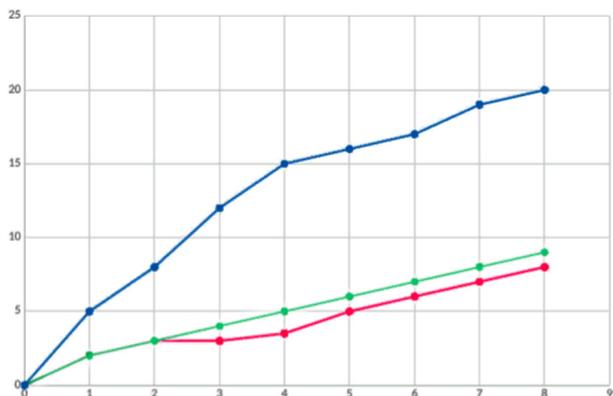


Рисунок 2 – Потеря массы льноволокна

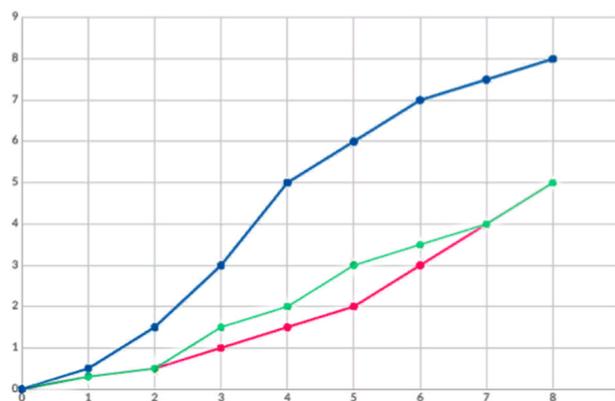


Рисунок 3 – Потеря массы целлюлозного комплекса льноволокна

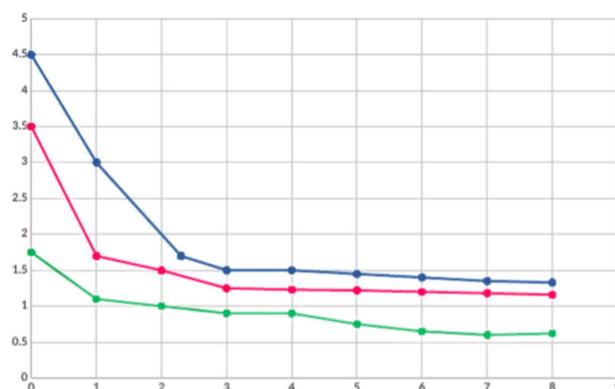


Рисунок 4 – Динамика содержания пектиновых веществ в льноволокне

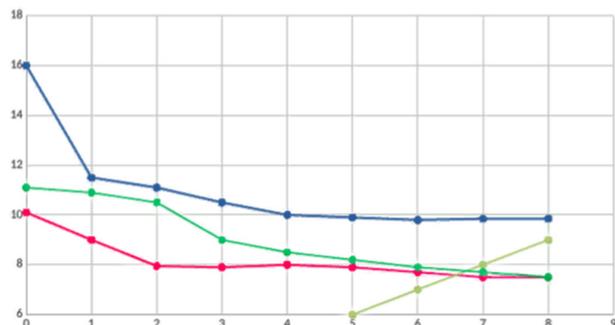


Рисунок 5 – Динамика содержания гемицеллюлозы в льноволокне

Проведенный анализ показал, что данные волокна имели незначительные различия в цвете, геометрических параметрах, прочностных показателях и содержании природных примесей.

Выводы. Следствием разрушения технических волокон является их распад на множество мелких фрагментов, отдельных коротких комплексов и элементарных волокон. Промышленное внедрение метода затрудняется тем, что этот процесс идет неравномерно по объему волокна. В связи с этим необходимо разработать биологический способ, избирательно разрушающий либо пектин, либо лигнин, либо целлюлозу.

Список литературы

1. Бадретдинова, И. В. Критерии управления процессом щелочной варки льняного волокна / И. В. Бадретдинова, Н. С. Данышева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3–4 (20–21). – С. 4–6.
2. Бадретдинова, И. В. Обоснование эффективности ультразвукового диспергирования пектинового комплекса стебля льна-долгунца / И. В. Бадретдинова, Н. Ю. Касаткина // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (49). – С. 39–44.
3. Трефилов, Р. А. Оценка режимов процесса предпосевной обработки семян инфракрасным облучением / Р. А. Трефилов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 151. – С. 1–14.
4. Кузнецова, И. В. Получение льняной тресты методом ультразвукового диспергирования / И. В. Кузнецова, Н. М. Агафонова, В. В. Касаткин // Молодые ученые в XXI веке: м-лы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. – С. 197–199.
5. Бадретдинова, И. В. Пути повышения эффективности льноперерабатывающей отрасли / И. В. Бадретдинова, В. В. Касаткин // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству: м-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – С. 6–9.
6. Бадретдинова, И. В. Ресурсосберегающая технология производства блоков льняного арболита / И. В. Бадретдинова, А. А. Сергеев // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: м-лы Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин агроинженерного ф-та, 90-летию д-ра хим. наук, профессора, заслуженного деятеля науки УР Г. А. Кorableва и 85-летию канд. техн. наук, профессора, заслуженного работника с.-х. УР, почетного работника ВПО РФ Б. Д. Зонova. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. – С. 254–260.
7. Бадретдинова, И. В. Способ приготовления льняной тресты и установка для его осуществления / И. В. Бадретдинова, А. А. Сергеев // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: м-лы Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин агроинженерного ф-та, 90-летию д-ра хим. наук, профессора, заслуженного деятеля науки УР Г. А. Кorableва и 85-летию канд. техн. наук, профессора, заслуженного работника сельского хозяйства УР, почетного работника ВПО РФ Б. Д. Зонova. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. – С. 260–264.
8. Бадретдинова, И. В. Экологичная упаковка на основе костры льна и природных зерновых полимеров / И. В. Бадретдинова, В. В. Касаткин // Наука Удмуртии. – 2018. – № 4 (86). – С. 17–19.
9. Badretdinova, I. V. Improvement of flax husk production technology as raw material for cellulose nanomaterials / I. V. Badretdinova, V. V. Kasatkin, N. Yu. Kasatkina, A. A. Sergeev, V. A. Sokolov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – С. 62018.

Spisok literatury

1. Badretdinova, I. V. Kriterii upravleniya procesom shchelochnoj varki l'nyanogo volokna / I. V. Badretdinova, N. S. Danysheva // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2009. – № 3–4 (20–21). – S. 4–6.
2. Badretdinova, I. V. Obosnovanie effektivnosti ul'trazvukovogo dispergirovaniya pektinovogo kompleksa steblya l'na-dolgunca / I. V. Badretdinova, N. YU. Kasatkina // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 4 (49). – S. 39–44.
3. Trefilov, R. A. Ocenka rezhimov processa predpsevnoy obrabotki semyan infrakrasnym oblucheniem / R. A. Trefilov [i dr.] // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 151. – S. 1–14.
4. Kuznecova, I. V. Poluchenie l'nyanoj tresty metodom ul'trazvukovogo dispergirovaniya / I. V. Kuznecova, N. M. Agafonova, V. V. Kasatkin // Molodye uchenye v XXI veke: m-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2005. – S. 197–199.
5. Badretdinova, I. V. Puti povysheniya effektivnosti l'nopererabatyvayushchej otrasli / I. V. Badretdinova, V. V. Kasatkin // Agrarnaya nauka – sel'skohozyajstvennomu proizvodstvu: m-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2019. – S. 6–9.
6. Badretdinova, I. V. Resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva blokov l'nyanogo arbolita / I. V. Badretdinova, A. A. Sergeev // Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoj sistemy APK: problemy i perspektivy: m-ly Nac. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu raboty kafedry ekspluatatsii i remonta mashin agroinzhenernogo f-ta, 90-letiyu d-ra him. nauk, professora, zaslužennogo deyatelya nauki UR G. A. Korableva i 85-letiyu kand. tekhn. nauk, professora, zaslužennogo rabotnika sel'skogo hozyajstva UR, pochetnogo rabotnika VPO RF B. D. Zonova. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2020. – S. 254–260.
7. Badretdinova, I. V. Sposob prigotovleniya l'nyanoj tresty i ustanovka dlya ego osushchestvleniya / I. V. Badretdinova, A. A. Sergeev // Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoj sistemy APK: problemy i perspektivy: m-ly Nac. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu raboty kafedry ekspluatatsii i remonta mashin agroinzhenernogo f-ta, 90-letiyu d-ra him. nauk, professora, zaslužennogo deyatelya nauki UR

G. A. Korableva i 85-letiyu kand. tekhn. nauk, profesora, zaslužennogo rabotnika sel'skogo hozyajstva UR, pochetnogo rabotnika VPO RF B. D. Zonova. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2020. – S. 260–264.

8. Badretdinova, I. V. Ekologichnaya upakovka na osnove kostry l'na i prirodnyh zernovyh polimerov / I. V. Badretdinova, V. V. Kasatkin // Nauka Udmurtii. – 2018. – № 4 (86). – S. 17–19.

9. Badretdinova, I. V. Improvement of flax husk production technology as raw material for cellulose nanomaterials / I. V. Badretdinova, V. V. Kasatkin, N. Yu. Kasatkina, A. A. Sergeev, V. A. Sokolov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – S. 62018.

Сведения об авторах:

Бадретдинова Ирина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования пищевых и перерабатывающих производств, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: BadIV81@yandex.ru).

Воронцова Елизавета Алексеевна – аспирант кафедры технологии и оборудования пищевых и перерабатывающих производств, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: vorontsova.e.a.1997@gmail.com).

Касаткин Владимир Вениаминович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования пищевых и перерабатывающих производств, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: kasww@mail.ru).

Спиридонов Анатолий Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования пищевых и перерабатывающих производств, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: anbs88@bk.ru).

I. V. Badretdinova, Ye. A. Vorontsova, V. V. Kasatkin, A. B. Spiridonov
Izhevsk State Agricultural Academy

BIOLOGICAL METHODS OF DESTRUCTION OF THE FLAX FIBER CELLULOSE COMPLEX

Currently, there is a need to seek for the most effective and economical methods of processing fibrous materials, waste including resulting from the primary processing of bast crops. The analysis of the existing methods of flax fiber modification showed that the most promising were biological methods of destruction. The research is aimed at activating the vital activity of the natural microflora of the flax stem, creating favorable conditions for its vital activity in the workshop conditions for the subsequent destruction of pectin substances and hemicellulose in flax fiber. In this regard, a method of biodegradation of the cellulose complex of flax fiber was experimentally studied. Biologics were also identified that differ in the level of activity in respect of biopolymers of the flax complex (hemicellulose m, pectin, etc.) – Clostridium bacteria belonging to the C. Felsineum and C. Pectinovorum species, the latter functioning as catalysts for the destruction process. As a result, it was experimentally revealed that the active development and vital activity of microbial cultures during the first two weeks led to a loss of 18.2–18.8 % of the fiber mass and a sharp decrease in the breaking loads of fibers by 57–71 %.

Key words: flax fiber; cellulose; hemicellulose, butyric acid fermentation, bacteria; bio-destructors; natural microflora complex.

Authors:

Badretdinova Irina Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment of Food and Processing Industries, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: BadIV81@yandex.ru).

Vorontsova Yelizaveta Alekseyevna – Postgraduate Student of the Department of Technology and Equipment of Food and Processing Industries, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: vorontsova.e.a.1997@gmail.com).

Kasatkin Vladimir Veniaminovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of Food and Processing Industries, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: kasww@mail.ru).

Spiridonov Anatoly Borisovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment of Food and Processing Industries, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: anbs88@bk.ru).

А. Г. Ипатов

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Восстановление изношенных рабочих поверхностей требует поиска более эффективных технологических процессов наращивания, обеспечивающих синтез покрытий, по толщине соразмерных с величиной предельного износа деталей машин. Наиболее привлекательными являются технологии лазерного синтеза тонких восстановительных покрытий. Основной целью данной работы явилась возможность реализации тонких восстановительных покрытий на поверхностях деталей машин методом лазерного оплавления порошковых композиций на основе железа. В качестве компонентов порошковой композиции использовали мелкодисперсное карбонильное железо, графит и порошковую медь в качестве легирующей фазы. Покрытия получали методом оплавления шликерной обмазки на поверхности стального изделия с использованием импульсного лазерного излучения. Полученные покрытия исследовали методами металлографического и рентгеноструктурного анализа, а также определили микротвердость покрытий. Полученные покрытия обладают толщиной в пределах от 30 до 50 мкм. Металлографические исследования подтвердили высокую адгезионную прочность покрытия с подложкой детали. Пористость покрытия неоднородна и зависит от количества вводимой порошковой меди, в частности, покрытия без медной составляющей обладают пористостью в 40 %, с введением меди до 2 % пористость снижается до 15 %. Дальнейшее увеличение медной составляющей приводит к увеличению пористости, при 4–18 % пористости, при достижении 10 % пористость составляет 25 %. Структура покрытия преимущественно представляет собой твердые растворы внедрения α -фазы и твердые растворы замещения γ -фазы. Величина микротвердости также неоднородна и определяется количеством вводимой меди. Наибольшая микротвердость покрытия достигается при введении меди в 2 % и составляет 517 единиц по HV. Представленный анализ структуры и свойств восстановительных покрытий имеет высокий практический потенциал и может быть использован в ремонтном производстве при наращивании тонких пористых покрытий.

Ключевые слова: восстановительные покрытия; лазерное излучение; порошковая композиция.

Введение. В настоящее время для восстановления работоспособности изношенных деталей более чем в 60 % случаев используют сварочно-наплавочные процессы. Широкое распространение этих способов восстановления обусловлено простотой технологического процесса и обслуживания применяемого оборудования, а также высокой производительностью процесса наращивания слоя. Особенности используемых источников энергии при сварочно-наплавочных процессах определяют нагрев материала основы и присадочного материала, значительно превышающий температуру их плавления. При этом скорость введения тепловой энергии в сварочно-наплавочных процессах соразмерна с теплопроводностью, что негативно влияет на качество восстанавливаемых деталей.

Многочисленными исследованиями установлено, что величина износа около 80...85 % деталей не превышает 0,3 мм [3, 4, 9]. При этом большинство сварочно-наплавочных методов восстановления имеет толщину покрытия по-

рядка 1–5 мм, что приводит к снижению их экономической эффективности в силу существенных величин снимаемого слоя.

Это обуславливает необходимость поиска и использования способов наращивания с толщинами получаемых покрытий порядка 0,3–0,5 мм. Такие величины покрытий можно получать электрогальваническими методами осаждения, газотермической металлизации [6]. Однако гальванические методы наращивания весьма трудоемки и требуют сложного оборудования. Газотермическая металлизация обладает низкой трудоемкостью процесса, однако наращенный слой обладает невысокой прочностью сцепления и высокой остаточной пористостью.

В последнее время при наращивании покрытий используют концентрированные потоки энергии. К таким источникам относится лазерное излучение. Использование концентрированных потоков энергии при наращивании слоя позволяет избавиться от ряда недостатков

вышеуказанных методов и синтезировать покрытия с желаемыми физико-механическими свойствами [4, 5, 10, 11, 14].

В данной работе ставилась цель в получении восстановительного покрытия из порошковой композиции на основе железа, обладающего низкой пористостью и высокой микротвердостью структуры.

Материалы и методика проведения эксперимента. Для проверки вышесказанных предположений использованы специальные порошковые композиции. В состав композиций вводились порошки карбонильного железа марки А-100 в качестве основы, порошка меди, кристаллического графита, и связующее вещество CCl_4 . Наличие графита в составе порошковой композиции является упрочняющей фазой, обеспечивающей формирование мелкодисперсных цементитных структур в составе перлитной фазы. Получение фазово-неоднородных и прочных структур возможно с использованием в качестве примеси меди [8]. Выбор меди в качестве примеси был связан с тем обстоятельством, что кристаллическая структура меди имеет градиентированную кубическую решетку, идентичную структуре железа, и поэтому следует ожидать сильного влияния меди на процессы фазовых переходов и свойства структурных составляющих. Содержание меди может обеспечить снижение пористости слоя, а также увеличение прочности сцепления с основой. Присадочный материал представляет собой обмазку, которую наносили на поверхность детали с помощью валика [1, 2, 7, 11]. Технология получения карбонильного железа обеспечивает химическую чистоту порошка. Для восстановления и снятия внутренних напряжений исходный порошок подвергался отжигу в атмосфере водорода при температуре $350\text{ }^\circ\text{C}$ в течение одного часа с охлаждением в печи. После этого порошок железа смешивался с порошком меди в процентном соотношении 2 %, 4 %, 20 % соответственно, а также с графитом в пропорциях, необходимых для получения сплава железо-углерод с содержанием углерода 0,5 % по весу. Для удобства анализа исследований порошковые смеси обозначили следующим образом:

- порошковая смесь № 1 – 1 %Cu+Fe+0,5 % C;
- порошковая смесь № 2 – 4 %Cu+Fe+0,5 % C;
- порошковая смесь № 3 – 10 %Cu+Fe+0,5 % C;
- порошковая смесь № 4 – Fe+0,5 %.

Технологический стенд для высокоскоростного лазерного спекания порошковой композиции состоит из лазера «Квант-60», работающего на импульсном режиме, дефлектора

для сканирования лазерного излучения в плоскости X,Y; управляемого персональным компьютером, а также механизма для нанесения порошковой суспензии [3, 10, 12]. Для обработки использовали следующие режимы: скорость сканирования лазерного луча $V = 100\text{ мм/с}$; диаметр лазерного луча $d = 1,0\text{ мм}$, частота следования импульсов $f = 33\ 000\text{ Гц}$.

Оптимальными считались режимы синтеза покрытия, при которых получались монослои без следов коробления, а также без дефектов в зоне спекания порошкового материала с подложкой.

После лазерной обработки проводилось металлографическое, рентгеноструктурное исследование образцов, а также измерение микротвердости, пористости слоев в зоне лазерного спекания.

Результаты и их обсуждение. Оптическая металлография спеченных слоев проводилась на микроскопе «Neophot-32» в режиме темного поля с увеличением в 250 раз. Рентгеноструктурный анализ – на установке ДРОН-6 с использованием излучения К-серии.

В целях выяснения особенностей рекристаллизации порошкового материала и природы образующихся фаз проводили металлографический и рентгеноструктурный анализ формируемого покрытия. На полученной дифрактограмме монослоя из порошковой смеси без меди (порошковая смесь № 4) присутствуют только линии двух фаз: $\alpha\text{-Fe}$ и $\gamma\text{-Fe}$ (рис. 2). При этом количественный анализ показал содержание $\alpha\text{-Fe}$ 55 %, $\gamma\text{-Fe}$ 45 %.

Присутствующий в монослоях остаточный аустенит в процессе деформации может претерпевать мартенситное $\gamma\text{-}\alpha$ превращение. Возникающий при этом мартенсит деформации является неотпущенным мартенситом и по своей износостойкости он не уступает тетрагональному мартенситу охлаждения, содержащему такое же количество мартенсита.

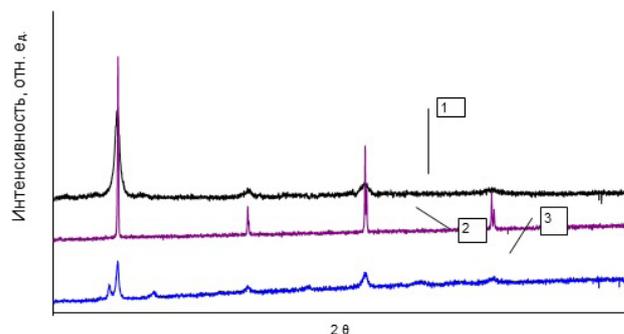


Рисунок 1 – Рентгенограмма спеченного образца и исходного порошка:
1 – исходный порошок; 2 – эталон;
3 – спеченный слой

Для анализа микроструктуры спеченного слоя приготавливались микрошлифы в продольном сечении спеченного слоя без травления поверхности. Характерная микроструктура спеченного слоя представлена на рисунке 3 (увел. 250).

Микроструктура представляет собой светло- и темно-травящиеся зоны: темная зона характеризует объемные микропоры, светлая зона – спеченные микрообъемы порошковой композиции.

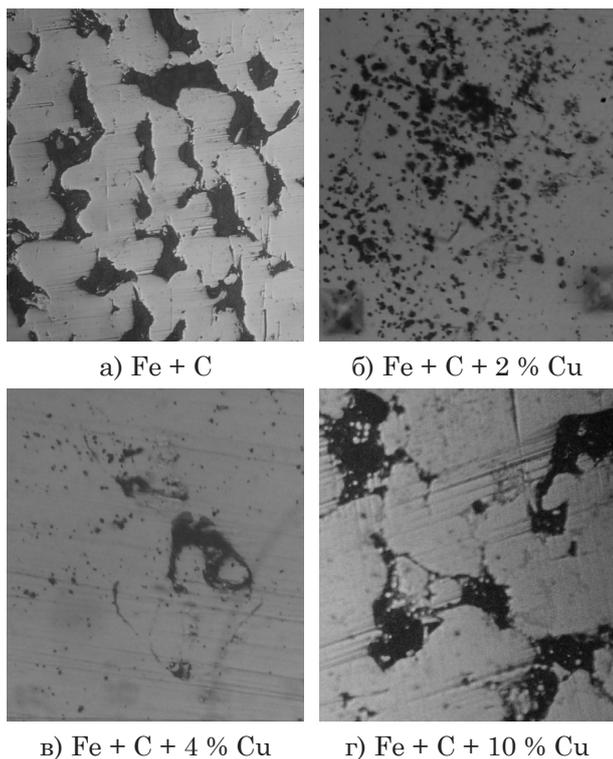


Рисунок 2 – Микроструктура анализируемых покрытий

Микропористость спеченного слоя для порошковой смеси без меди составляет порядка 30...35 %, что может положительно влиять на износостойкость слоя за счет образования «микрокарманов», заполняемых маслом в процессе износа.

Однако благоприятные условия износостойкости возникают при пористости слоя 15...20 %. Повышение пористости выше 25 % приводит к значительному снижению прочности слоя и быстрому его разрушению в процессе эксплуатации. С целью снижения пористости слоя в состав порошковой смеси вводили медь в процентном соотношении 2 %, 4 %, 10 % (рис. 2). Наименьшее значение пористости слоя получили при содержании меди в 4 % (порошковая смесь № 2). Пористость слоя составляет порядка 15 %.

При увеличении содержания меди до 10 % (порошковая смесь № 3) пористость увеличивается и составляет порядка 25 %. Пористость слоя при 2 % меди составляет 18–20 % (порошковая смесь № 1) (табл. 1).

Снижение пористости покрытий связано с изменением кинетики диффузионных процессов под влиянием медной составляющей. Температура плавления меди ниже температуры плавления железоуглеродистых сплавов, что обеспечивает более раннее развитие межчастичных связей и рост шеек и тем самым более активный перенос вещества, приводящий к уменьшению суммарного объема пор в спеченном слое. При повышении содержания меди пористость значительно увеличивается. Повышение пористости, возможно, происходит из-за выделения медной составляющей из железоуглеродистого состава смеси и его самостоятельной рекристаллизации (рис. 2 г, д).

Таблица 1 – Значение пористости и микротвердости в зависимости от содержания меди

% Cu	0	2	4	10
θ , %	45	15	18	25
HV, кг/мм ²	289	517	395	354

Микротвердость анализируемых покрытий неоднородна (для всех порошковых смесей) и колеблется в пределах от 289 до 517 кг/мм².

Увеличение микротвердости при 2 % меди свидетельствует об образовании сверхтвердых структурных составляющих. Образование сверхтвердых структур, возможно, связано с влиянием меди на механизм фазовых превращений, протекающих в ходе лазерной обработки. При увеличении содержания меди до 4 % микротвердость значительно снижается, что, скорее всего, связано с выделением медянистой составляющей (табл. 1). Дальнейшее увеличение содержания меди также ведет к снижению микротвердости. Важно было определить структурные составляющие, ответственные за высокое значение микротвердости. С этой целью провели фазовый анализ покрытий.

На полученной дифрактограмме покрытий из медных порошковых смесей присутствуют только линии двух фаз: α -Fe и γ -Fe. При этом количественный анализ показал содержание α -Fe 52 %, γ -Fe 48 % для порошковой смеси № 1; для порошковой смеси № 2 α -Fe 69 %, γ -Fe 31 %; для порошковой смеси № 3 α -Fe 44 %, γ -Fe 52 % [11].

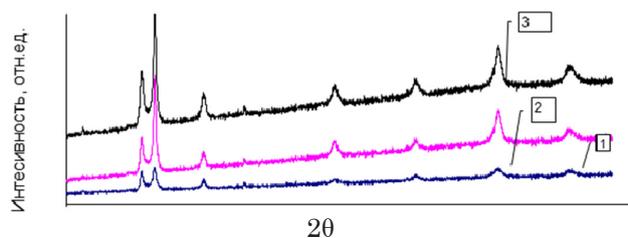


Рисунок 3 – Рентгенограмма спеченных слоев из медных порошковых смесей: 1 – порошковая смесь № 1; 2 – порошковая смесь № 2; 3 – порошковая смесь № 3

Изменения фазового состава покрытий в зависимости от содержания меди можно обосновать, обратившись к диаграмме состояния медь-железо [8]. Увеличение γ -составляющей при 2 % содержании меди связано с образованием пересыщенного медью ε -фазы из γ -составляющей. Поскольку период кристаллической ячейки ε -фазы и γ -фазы соизмеримы, то на дифрактограмме ε -фазы принимается за γ -фазу. При 4 % содержании меди величина γ -фазы значительно снижается, что объясняется эвтектидным превращением γ -составляющей в $\alpha + \varepsilon$ -составляющую и тем самым снижением γ -фазы.

Выводы. Рассмотрены особенности формирования слоя при лазерном спекании порошковых композиций на основе железа с добавлением меди. Проведенные исследования позволяют сказать, что ввод меди в порошковую композицию может оказывать положительное влияние на свойства получаемых покрытий. Проведенные рентгеноструктурные исследования показали значительное изменение фазового состава в зависимости от содержания меди. Влияние меди на процессы фазовых превращений позволило получить сверхтвердые структурные составляющие, однако определить их в ходе исследований не удалось. Изменение кинетики диффузионных процессов под воздействием медной составляющей снизило пористость от 40 % до 15 %.

Полученные экспериментальные исследования имеют высокое практическое значение и могут быть использованы при реализации тонких восстановительных покрытий на поверхностях стальных деталей машин в условиях ремонтного производства.

Список литературы

1. Гольдфарб, В. И. Новая технология лазерной модификации поверхностей низкоскоростных тяжело нагруженных опор скольжения / В. И. Гольдфарб, Е. С. Трубачев, Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов, К. В. Богданов, Ю. Ю. Матвеева // Вестник

ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20. – № 2. – С. 112–117.

2. Ипатов, А. Г. Исследование триботехнических свойств металлполимерных покрытий системы «Б83-MOS2-Ф4» / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, С. М. Стрелков, С. Н. Шмыков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3 (44). – С. 14–20.

3. Ипатов, А. Г. Лазерно-порошковая наплавка покрытий на основе баббита Б83 / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 8. – С. 27–31.

4. Ипатов, А. Г. Некоторые параметры работоспособности модифицированных молотков молотковых дробилок / А. Г. Ипатов, В. И. Ширококов, С. Н. Шмыков, Е. В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1 (38). – С. 6–10.

5. Ипатов, А. Г. Повышение работоспособности сепарирующего решета дробилки зерна закрытого типа / А. Г. Ипатов, В. И. Ширококов, М. А. Кубалов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 55. – № 1. – С. 112–119.

6. Ипатов, А. Г. Способ формирования покрытия и установка для его осуществления / А. Г. Ипатов, С. М. Стрелков, С. С. Стрелков, Е. В. Харанжевский: патент на изобретение RUS 2497978 22.07.2011.

7. Ипатов, А. Г. Структура и свойства модифицированного антифрикционного покрытия на основе металлической композиции / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, Ю. Ю. Матвеева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (47). – С. 46–53.

8. Петров, Л. А. Диаграммы состояния металлических систем. Выпуск 30. Часть 1 / Л. А. Петров, Н. И. Ганина [и др.]. – М, 1986.

9. Стрелков, С. М. Некоторые проблемы восстановления подшипниковых сопряжений турбокомпрессоров / С. М. Стрелков, А. Г. Ипатов, А. Н. Давыдов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1 (38). – С. 32–34.

10. Харанжевский, Е. В. Насыщение графитом поверхности стали при лазерной обработке короткими импульсами / Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов, Т. А. Писарева, Ф. З. Гильмутдинов // Материаловедение. – 2013. – № 11. – С. 38–43.

11. Харанжевский, Е. В. Структура и механические свойства спеченных слоев из ультрадисперсных порошковых материалов на основе железа / Е. В. Харанжевский, И. Н. Климова, А. Г. Климов, С. М. Стрелков // Вестник Удмуртского университета. Серия Физика и химия. – 2009. – № 1. – С. 111–120.

12. Харанжевский, Е. В. Структура и топография поверхностных слоев, полученных лазерным высокоскоростным спеканием порошков Fe-Cu-Ni, Fe-Cu / Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов // Вестник Уд-

муртского университета. Серия Физика и химия. – 2010. – № 1. – С. 74–83.

13. Ширококов, В. И. Повышение износостойкости молотковых зерновых дробилок / В. И. Ширококов, А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1 (34). – С. 69–71.

14. Kharanzhevskiy, E. V. Short-pulse laser sintering of multilayer hard metal coatings: structure and wear behavior / E. V. Kharanzhevskiy, A. G. Ipatov, I. Nikolaeva, R. Zakirova // Lasers in Manufacturing and Materials Processing. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 91–102.

Spisok literatury

1. Gol'dfarb, V. I. Novaya tekhnologiya lazernoj modifikacii poverhnostej nizkoskorostnyh tyazhlonagruzhenykh opor skol'zheniya / V. I. Gol'dfarb, E. S. Trubachev, E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov, K. V. Bogdanov, YU. YU. Matveeva // Vestnik IzhGTU im. M. T. Kalashnikova. – 2017. – Т. 20. – № 2. – С. 112–117.

2. Ipatov, A. G. Issledovanie tribotekhnicheskikh svojstv metallpolimernykh pokrytij sistemy «B83-MOS2-F4» / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij, S. M. Strelkov, S. N. SHmykov // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2015. – № 3 (44). – С. 14–20.

3. Ipatov, A. G. Lazerno-poroshkovaya naplavka pokrytij na osnove babbita B83 / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij // Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. – 2018. – № 8. – С. 27–31.

4. Ipatov, A. G. Nekotorye parametry rabotosposobnosti modifitsirovannykh molotkov molotkovykh drobilok / A. G. Ipatov, V. I. SHirobokov, S. N. SHmykov, E. V. Haranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014. – № 1 (38). – С. 6–10.

5. Ipatov, A. G. Povyshenie rabotosposobnosti separiruyushchego resheta drobilki zerna zakrytogo tipa / A. G. Ipatov, V. I. SHirobokov, M. A. Kubalov // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agarnogo universiteta. – 2018. – Т. 55. – № 1. – С. 112–119.

6. Ipatov, A. G. Sposob formirovaniya pokrytiya i ustanovka dlya ego osushchestvleniya / A. G. Ipatov, S. M. Strelkov, S. S. Strelkov, E. V. Haranzhevskij: patent na izobretenie RUS 2497978 22.07.2011.

7. Ipatov, A. G. Struktura i svojstva modifitsirovannogo antifrikcionnogo pokrytiya na osnove metallicheskoj kompozicii / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij, Yu. Yu. Matveeva // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 2 (47). – С. 46–53.

8. Petrov, L. A. Diagrammy sostoyaniya metallicheskih sistem. Vypusk 30. CHast' 1 / L. A. Petrov, N. I. Ganina [i dr.]. – М, 1986.

9. Strelkov, S. M. Nekotorye problemy vosstanovleniya podshipnikovyh sopryazhenij turbokompressorov / S. M. Strelkov, A. G. Ipatov, A. N. Davydov // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014. – № 1 (38). – С. 32–34.

10. Haranzhevskij, E. V. Nasyshchenie grafitom poverhnosti stali pri lazernoj obrabotke korotkimi impul'sami / E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov, T. A. Pisareva, F. Z. Gil'mutdinov // Materialovedenie. – 2013. – № 11. – С. 38–43.

11. Haranzhevskij, E. V. Struktura i mekhanicheskie svojstva spechennykh sloev iz ul'tradispersnykh poroshkovykh materialov na osnove zheleza / E. V. Haranzhevskij, I. N. Klimova, A. G. Klimov, S. M. Strelkov // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Fizika i himiya. – 2009. – № 1. – С. 111–120.

12. Haranzhevskij, E. V. Struktura i topografiya poverhnostnykh sloev, poluchennykh lazernym vysokoskorostnym spekaniem poroshkov Fe-Cu-Ni, Fe-C-Cu / E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Fizika i himiya. – 2010. – № 1. – С. 74–83.

13. Shirobokov, V. I. Povyshenie iznosostojkosti molotkovykh zernovykh drobilok / V. I. Shirobokov, A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2013. – № 1 (34). – С. 69–71.

14. Kharanzhevskiy, E. V. Short-pulse laser sintering of multilayer hard metal coatings: structure and wear behavior / E. V. Kharanzhevskiy, A. G. Ipatov, I. Nikolaeva, R. Zakirova // Lasers in Manufacturing and Materials Processing. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 91–102.

Сведения об авторе:

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

A. G. Ipatov

Izhevsk State Agricultural Academy

ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF RECOVERING COATINGS OF BASED-ON-IRON POWDER COMPOSITIONS

Recovering of the worn-out working surfaces requires a search for more efficient technological processes of building-up, ensuring the synthesis of coatings commensuration with the value of the limiting wear of machine parts in thickness. The most attractive technologies are laser synthesis of thin recovering coatings. The aim of the

work was the possibility of implementing thin recovering coatings on the surfaces of machine parts by the laser reflow of iron-based powder compositions. As components of the powder composition, finely dispersed carbonyl iron, graphite and powdered copper were used as the alloying phase. The coatings were obtained by fusing a slip coating on the surface of a steel product using pulsed laser radiation. The resulting coatings were investigated by means of metallographic and X-ray structural analysis, and the microhardness of the coatings was determined as well. The resulting coatings indicate the thickness ranging from 30 to 50 microns. Metallographic studies have confirmed the high adhesion degree of the coating to a part backing. The porosity of the coating is non-uniform and depends on the amount of powdered copper introduced. In particular, coatings with none-copper component have proved a porosity of 40 %, and with the introduction of copper to 2 % the porosity decreases to 15 %. A further increase in the copper component leads to an increase in porosity, at 4–18 % porosity, when reaching 10 %, the porosity makes 25 %. The structure of the coating is mainly represented by solid solutions for the interstitial α -phase and solid solutions of substitution for the γ -phase. The value of microhardness is also inhomogeneous, and is determined by the amount of copper introduced. The highest microhardness of the coating is achieved with the introduction of copper by 2 % and is 517 HV units. The presented analysis of the structure and properties of recovering coatings has a high practical potential and can be used in repairing when building up thin-porous coatings.

Key words: recovering coatings; laser radiation; powder composition.

Author:

Ipatov Aleksey Gennadievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Machines Operation and Repair, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: Ipatow.al@yandex.ru).

УДК 621.432.06-049.32

DOI 10.48012/1817-5457_2021_1_44

А. Г. Ипатов, К. Г. Волков

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

К ОБОСНОВАНИЮ МАТЕРИАЛА ЗАЩИТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТАРЕЛКИ КЛАПАНА

Актуальность работы заключается в отсутствии эффективного защитно-восстановительного покрытия рабочей фаски клапанов высоконагруженных двигателей внутреннего сгорания, работающих при повышенных температурах. Целью исследования является анализ возможности модификации металлических порошковых композиций компонентами, повышающими термостойкость и износостойкость упрочняющих и восстанавливающих покрытий. Основные задачи заключаются в анализе априорной информации о термостойких и износостойких материалах, в выборе материалов и обосновании их использования в данных условиях. Для выполнения работы были изучены диаграммы состояния сплавов, проанализированы работы по данному направлению. В результате были выбраны материалы на основе Ni, легированные с карбидом бора B_4C , оксидами ZrO_2 , MgO и нитридом бора BN . Составы данных порошковых композиций основаны на никеле. Карбид и нитрид бора позволяют уменьшить коэффициент трения, повысить износостойкость. Оксид магния и диоксид циркония – компоненты, повышающие термостойкость и коррозионную стойкость покрытия. Предложенная металлическая композиция позволяет создать покрытия, работающие при температурах свыше 700 °С, не подвергаясь окислению и повышенному износу.

Ключевые слова: рабочая фаска клапана; защитно-восстановительное покрытие; керамика.

Актуальность. Тяжелые условия эксплуатации клапанов двигателей внутреннего сгорания вынуждают производителей силовых агрегатов, а также ремонтные организации использовать различные способы защиты рабочей поверхности тарелки клапана. В большинстве случаев в условиях машиностроения применяют функциональные покрытия с высокой жаропрочностью, стойкостью к коррозии,

эрозии, окислению, износу и ударным нагрузкам. Для автотракторных дизелей наиболее часто применяется стеллит ВЗК. Кроме него в [11] и [18] описываются различные материалы на основе никеля, хрома, кобальта и др.

Рассмотрим динамику мировых цен на кобальт и никель (основы многих материалов покрытий рабочей фаски) за последние 5 лет на рисунке 1 [10].

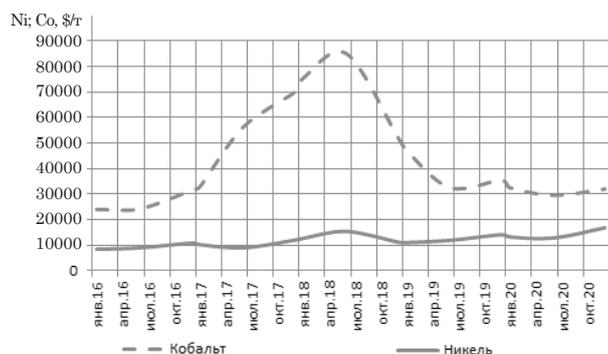


Рисунок 1 – Динамика цен на кобальт и никель за последние 5 лет

Из графиков видно, что цены на никель заметно ниже, чем на кобальт. На декабрь 2020 г. разница составляет примерно 44 %. Данный фактор делает никель более привлекательным металлом – основой для создания защитно-восстановительного покрытия рабочей поверхности тарелки клапана.

Рассмотрим основные металлические композиции, применяемые при восстановлении и упрочнении тарелок клапанов (табл. 1) [1, 11, 18].

Все представленные материалы основываются на никеле или кобальте. Кроме основы в состав порошковых композиций вводят легирующие компоненты, придающие покрытиям отличные свойства. Немаловажным фактором при выборе материалов является показатель горячей твердости. Данные параметры для некоторых материалов приведены на рисунке 2 [11].

На графике (рис. 2) видно, что наибольшую твердость, как холодную, так и горячую, имеет сплав 50НХ25С5Р с никелевой основой, который рекомендован к использованию на тяжелонагруженных тепловозных дизельных двигателях 5Д70 [11]. Однако, как показывает практика, использование данного композиционного состава неэффективно в условиях эксплуатации клапанов при температурах

выхлопных газов свыше 700 °С, что характерно при использовании в дизельных автотракторных двигателях внутреннего сгорания газового топлива. Исследования, проведенные авторами в работе [8], показывают значительное увеличение температурного фона эксплуатации клапанов при использовании в качестве топлива природного газа. Основная причина снижения термостойкости и горячей твердости заключается в использовании таких компонентов, как хром. Хром обеспечивает высокую коррозионную стойкость и твердость в условиях температур не выше 700 °С, поскольку при последующем повышении температуры хром интенсивно окисляется и разрушает покрытие.

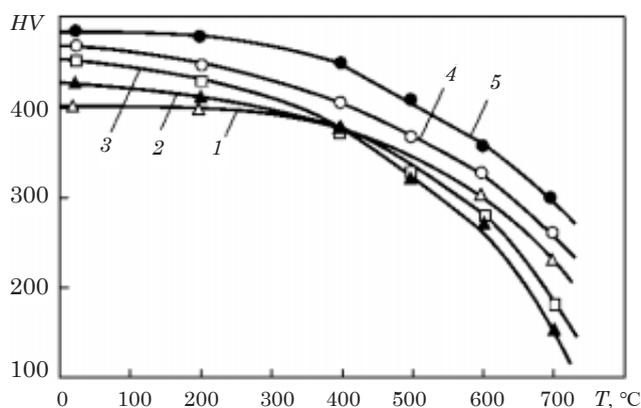


Рисунок 2 – Горячая твердость сплавов: 1 – 150Н40Х25В6; 2 – ЭП-616А; 3 – 180КХ25Н20В12; 4 – 110К65Х28В4; 5 – 50НХ25С5Р

Этот же эффект наблюдается при использовании в качестве легирующего компонента вольфрама. Вольфрам подвержен интенсивному окислению в окружающей среде при температуре свыше 600 °С. Поэтому использование данных химических элементов нежелательно в составе восстанавливающих и упрочняющих покрытий для тарелок клапанов, эксплуатирующихся при высоких температурных режимах.

Таблица 1 – Покрытия рабочей фаски клапанов

Марка материала	Химический состав, %								Твердость в холодном состоянии, HRC
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Co	Fe	
В2К	2,0	–	2,0	30,0	2,0	–	основ	16,0	48–54
В3К	1,5	–	2,5	28,0	2,0	–	основ	6,0	38–45
150Н40Х25В6	1,5	–	1,5	25,0	основ	6,0	–	26,0	33–38
110К65Х28В4	1,1	0,5	1,1	28	>2	4,5	основ	>2	41–46
ЭП-616А	0,9	0,4	2,5	26,0	основ	–	–	2,2	38–45
180КХ25Н20В12	1,8	0,3	1,1	25	20	12	основ	2	38–45
50НХ25С5Р	0,5	–	5	25	основ	–	–	8	–
ВХН-1	1,0	0,5	2,5	36,0	основ	5,0	–	–	30–33

Присутствие в составе большинства металлических композиций кремния и марганца обеспечивают повышение твердости и прочности покрытия и формируют высокую жесткость поверхности и позволяют поверхности клапана противостоять знакопеременным нагрузкам. При этом использование кремния и марганца с никелевой основой создает твердые растворы внедрения, что негативно сказывается на стабильности механических свойств поверхности при изменчивости температурного фона. Для сохранения механических свойств поверхности желательны наличие химических соединений, с этой целью в состав композиций вводят углерод, обеспечивающий формирование карбидов кремния марганца, железа и т.д. Наличие карбидных включений повышает твердость покрытия, но при этом повышается хрупкость, что нежелательно в условиях ударной работы тарелки клапана. Исходя из вышесказанного, для повышения стойкости тарелок клапанов к высоким температурам и обеспечения низкой интенсивности изнашивания необходимо модифицировать существующие составы на основе никеля.

Цель исследований заключается в анализе возможности модификации металлических порошковых композиций компонентами, повышающими термостойкость и износостойкость упрочняющих и восстанавливающих покрытий.

Материалы исследований. Методика исследований заключается в анализе диаграмм состояния сплавов на основе никеля и ряда работ, посвященных теме исследований [4–6, 14–16, 20]. В качестве наиболее влияющих факторов работы клапанного сопряжения были выбраны высокая температура и повышенный износ вследствие работы двигателя на природном газе. В результате исследований были определены оптимальные составы порошковых композиций, необходимых для получения упрочняющих и восстановительных покрытий на поверхности тарелок клапанов.

Результаты исследования. Как было указано выше, для получения покрытия за основу приняли никель. Никель имеет кубическую гранцентрированную кристаллическую решетку. Плотность при температуре 1000 °С составляет 8450 кг/м³, что не более чем на 5 % ниже, чем при 20 °С. Основные физические характеристики данного металла представлены в [12]. Температура плавления никеля равняется 1455 °С, что на 20–25 % выше возможной температуры газов, проходящих через выпускной клапан. Коэффициент теплопроводности

составляет 53–64 Вт/(м·К), что несколько уступает кобальту (90–100 Вт/(м·К)). Коэффициент линейного расширения при 800–1000 °С составляет $17,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что не сильно отличается от значения, характерного материалу тарелки клапана. Предел прочности никеля приведен на рисунке 3.

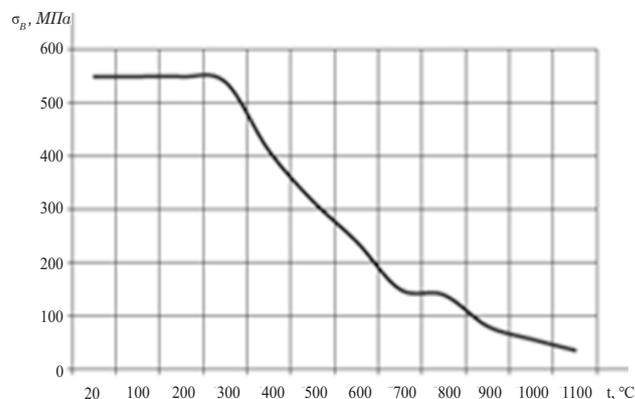


Рисунок 3 – Предел прочности никеля в зависимости от температуры

При рабочих температурах двигателя наблюдается значительное уменьшение (на 26–30 %) предела прочности по сравнению с 20 °С, что связано с рекристаллизацией никеля. Однако данный показатель все же выше, чем у конструкционной стали, на 2–4 %. Помимо этих параметров немаловажным является и твердость, которая колеблется в диапазоне НВ = 600–1600 МПа, в зависимости от рабочей температуры, чистоты материала, способа получения. Несомненно, что при повышении температуры до 1000 °С твердость будет стремиться к НВ = 600 МПа. Исходя из данных факторов, можно сделать вывод, что никель может хорошо воспринимать ударные нагрузки при высоких температурах, а также является хорошей основой для получения сплавов с добавлением различных упрочняющих компонентов. Использование упрочняющих компонентов, повышающих жаропрочность, уменьшающих коэффициент трения, является обязательным для получения рабочего состава в рассмотренных условиях.

Для снижения коэффициента трения, повышения износостойкости возможно использование керамических материалов, например, таких, как карбид бора В₄С и нитрид бора ВN [7, 16].

В [12] говорится о сверхвысокой твердости карбида бора, равной 29 ГПа. Плотность равна 2525 кг/м³, температура плавления 2450 °С, теплопроводность 121 Вт/м·К, модуль упругости 448 ГПа. Кристаллическая решетка В₄С – ромбоэдрическая.

Нитрид бора обладает гексагональной кристаллической решеткой. Данная структура похожа на строение графита, но сетки слоев расположены четко друг под другом. Эта структура имеет вид, приведенный на рисунке 4.

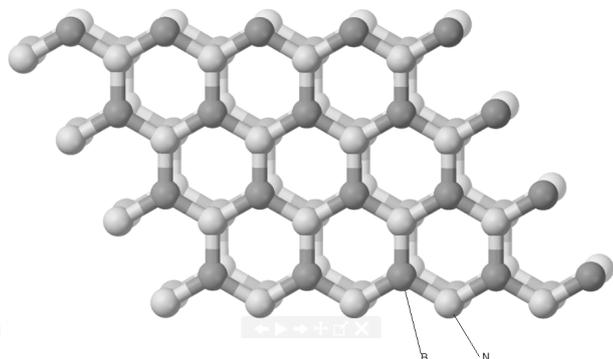


Рисунок 4 – Кристаллическая решетка гексагонального нитрида бора:
B – бор; N – азот

Основные физические свойства нитрида бора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физические свойства гексагонального нитрида бора

Параметр	Значение
Молярная масса, г/моль	24,8
Внешний вид	Белый, серый порошок
Плотность, кг/м ³	2340
Температура плавления, °С	3240
Теплопроводность, Вт/м·К	180–400
Коэффициент температурного расширения, К ⁻¹	81 · 10 ⁻⁶
Модуль Юнга, МПа	(3,3–8,5) · 10 ⁴

До 1000 °С данный материал не подвержен окислению, что делает возможным его использование в защитно-восстановительном покрытии рабочей фаски клапана. Помимо этого он является хорошим антифрикционным материалом. Но наряду с этими положительными факторами наблюдается снижение толщины покрытия, что для ремонтных целей является недостатком, вследствие чего необходимо производить наплавку в несколько слоев [7, 9, 13].

Однако использование только карбида или нитрида бора не позволяет достичь хороших триботехнических и прочностных свойств, так как их структура подвержена образованию трещин и пор вследствие высокой скорости охлаждения после нанесения на подложку. Для решения этой проблемы возможно добавление различных оксидов металлов. Они мо-

гут использоваться в качестве стабилизирующих и упрочняющих элементов в композиции.

Согласно [7], добавление оксида магния позволяет создать покрытие, в структуре которого практически отсутствуют трещины. Помимо этого возможно увеличение толщины покрытия, так как MgO может являться матрицей для данного композиционного материала, но при этом имеет относительно высокую температуру плавления. Также MgO используется в качестве стабилизирующей добавки в керамических материалах [2].

Данный материал представляет собой белый порошок. Он имеет кубическую кристаллическую решетку с периодом 0,4213 нм.

В таблице 3 представлены основные физические свойства MgO.

Таблица 3 – Физические свойства оксида магния

Параметр	Значение
Молярная масса, г/моль	40,3
Внешний вид	Белый порошок
Плотность, кг/м ³	3580
Температура плавления, °С	2825
Теплопроводность, Вт/м·К	36
Коэффициент температурного расширения, К ⁻¹	25 · 10 ⁻⁶

Наличие оксида магния в составе материала позволяет получить высокие значения чистоты поверхности. Шероховатость может достигать Ra 0,14. Но при этом его наличие в составе покрытия способствует уменьшению теплоотвода от зоны сопряжения.

Также в состав покрытия рабочей фаски клапана возможно и добавление такого компонента, как диоксид циркония ZrO₂. В промышленности чаще всего используется нестабильный высокотемпературный кубический диоксид циркония, стабилизированный оксидом магния MgO. По свойствам данный материал может имитировать природный алмаз. Основные характеристики ZrO₂ приведены в таблице 4.

Помимо этого ZrO₂ имеет высокую твердость, порядка 13 ГПа. Его использование возможно в качестве упрочняющего материала. Также диоксид циркония хорошо воспринимает и высокотемпературные воздействия. Способен работать при 1000 °С. Однако большое содержание в составе покрытия может привести к выкрашиванию покрытия при ударе о контактную поверхность седла [3].

Таблица 4 – Характеристики ZrO_2

Параметр	Значение
Молярная масса, г/моль	24,8
Внешний вид	Белый, серый порошок
Плотность, кг/м ³	5600
Температура плавления, °С	2715
Теплопроводность, Вт/м·К	2–2,5
Коэффициент температурного расширения, К ⁻¹	11·10 ⁻⁶
Модуль Юнга, МПа	1600–1800

Все рассмотренные материалы присутствуют в свободной продаже. Каждый из них может быть приобретен в виде мелкодисперсного порошка, что делает возможным использование их при импульсном высокочастотном методе наплавки, представленном в [10]. Кроме этого порошковые материалы позволяют смешивать необходимые компоненты в различных пропорциях для получения новых свойств сплавов.

Выводы. В данной работе был произведен анализ существующих покрытий рабочей фазы клапана. Многие из представленных порошковых композиций имеют ряд недостатков, которые выявляются при повышенных рабочих температурах и высоких динамических нагрузках. Для решения данных проблем были проанализированы альтернативные материалы и легирующие химические элементы. Было выявлено, что использование никеля в качестве основы позволяет создать материал с хорошей восприимчивостью к ударным нагрузкам. Помимо этого никель является хорошей матрицей для легирующих компонентов. Избежать температурного окисления и уменьшить коэффициент трения возможно введением в состав карбида или нитрида бора. Для повышения прочностных характеристик рекомендуется добавление (около 10 %) в порошковую композицию металлических оксидов, таких, как оксид магния и диоксид циркония.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что применение порошковых композиций на основе никеля с добавлением Ni, B_4C , ZrO , BN, MgO в качестве защитно-восстановительных покрытий оправданно при использовании их на высоконагруженных двигателях, работающих на газомоторном топливе.

Список литературы

1. Автомобильный двигатель ЗИЛ 130 / Под ред. А. М. Кригера. – М.: Машиностроение, 1973. – 264 с.

2. Васильев, И. П. Технология активационного спекания оксид-циркониевой керамики под воздействием потоков заряженных частиц: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.11, 01.04.07: защищена 03.05.2017: утв. 30.05.2017 / Васильев Иван Петрович. – Томск, 2017. – 164 с. – Библиогр.: С. 145–163.

3. Диоксид циркония [Электронный ресурс] // Hitech ceramics. – 2020. – URL: <http://hitech-ceramics.com/material/ru-zro2/> (дата обращения: 18.12.2020).

4. Ипатов, А. Г. Модификация подшипниковых сопряжений турбокомпрессора ТКР 7С- 6 / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, А. Г. Иванов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2020. – № 6. – С. 101–106.

5. Ипатов, А. Г. Сравнительный анализ работоспособности керамических антифрикционных покрытий / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 67–71.

6. Ипатов, А. Г. Структура и трибологические свойства сверхтвердых упрочняющих покрытий на основе карбида бора / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, С. Н. Шмыков // Технический сервис машин. – 2020. – № 2. – С. 134–140.

7. Ипатов, А. Г. Характеристики поверхности сверхтвердых керамических покрытий, полученных высокочастотной лазерной обработкой / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (62). – С. 57–62.

8. Колодочкин, М. В. Попутный газ [Электронный ресурс] / М. В. Колодочкин, А. Ю. Шабанов // За рулем: электронный журнал. – URL: https://www.zr.ru/content/articles/16577-poputnyj_gaz/ (дата публикации: 01.10.2008).

9. Михеев, В. А. Зависимость теплопроводности композиционного материала на основе силикона от объемного содержания нитрида бора / В. А. Михеев, В. Ш. Сулаберидзе, В. Д. Мушенко // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2016. – Т. 59. – № 4. – С. 317–321.

10. Пат. RU2718793C1 Российская Федерация, МПК C23C 24/08, C23C 4/12, C23C 30/00, B23K 26/144, B23K 26/342. Способ получения сверхтвердых износостойких покрытий с низким коэффициентом трения / Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов, М. Д. Кривилев; заявитель и патентообладатель Харанжевский Евгений Викторович. – N 2019106258; заявл. 05.03.2019 ; опубл. 14.04.2020. – 7 с.: ил.

11. Переплетчиков, Е. Ф. Применение порошков кобальтовых и никелевых сплавов для плазменной наплавки выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания / Е. Ф. Переплетчиков // Автоматическая сварка. – 2012. – № 7 (711). – С. 7–12.

12. Свойства элементов: справочник / Под ред. М. Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1985. – 672 с.

13. Хинайш, А. М. Термостимулированные процессы в люминесценции гексагонального нитрида

бора: дисс. ... канд. ф-м. наук : 01.04.07 : защищена 08.11.2016 : утв. 23.11.2016 / Хинайш Ахмед Махер Ахмед. – Екатеринбург, 2016. – 119 с. – Библиогр.: С. 107–119.

14. Ipatov, A. G. Analysis and synthesis of functional coatings by high-speed laser processing of ultrafine powder compositions / A. G. Ipatov, S. N. Shmykov, I. A. Deryushev [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 421–430.

15. Ipatov, A. G. An analysis of the functional properties of super hard coatings on boron carbide synthesized by short-pulse laser processing / A. G. Ipatov, G. Ya. Ostaev, S. N. Shmykov [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 921–928.

16. Ipatov, A. G. The Tribological Properties of Superhard and Functional Coatings Based on Carbide and Boron Nitride / A. G. Ipatov, E. V. Kharanzhevskiy // Journal of Friction and Wear. – 2019. – Т. 40. – № 6. – С. 588–592.

17. London Metal Exchange: сайт. Лондон, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lme.com/> (дата обращения: 14.12.2020).

18. Pat. US6298817B1 United States, IPC F01L3/22. Exhaust valve for an internal combustion engine / Harro Andreas Hoeg; Assignee: Man B&W Diesel A/S, Copenhagen SV (DK). – N PCT/DK97/00246 ; filed on Jun. 3, 1997; Pub. Date: Dec. 18, 1997. – 10 p.: il.

19. Suri, A. K. Synthesis and consolidation of boron carbide: a review / A. K. Suri [et al.] // International Materials Reviews. – 2010. – Т. 55. – № 1. – С. 4–40.

20. Kharanzhevskiy, E. V. Ultralow friction behaviour of B4C-BN-MeO composite ceramic coatings deposited on steel / E. V. Kharanzhevskiy, A. G. Ipatov, M. D. Krivilyov [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 390. – С. 125664.

Spisok literatury

1. Avtomobil'nyj dvigatel' ZIL 130 / Pod red. A. M. Krigera. – М.: Mashinostroenie, 1973. – 264 s.

2. Vasil'ev, I. P. Tekhnologiya aktivacionnogo spekaniya oksid-cirkonievoy keramiki pod vozdeystviem potokov zaryazhennykh chastic: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.17.11, 01.04.07: zashchishchena 03.05.2017: utv. 30.05.2017 / Vasil'ev Ivan Petrovich. – Tomsk, 2017. – 164 s. – Bibliogr.: S. 145–163.

3. Dioksid cirkoniya [Elektronnyj resurs] // Hitech ceramics. – 2020. – URL: <http://hitech-ceramics.com/material/ru-zro2/> (data obrashcheniya: 18.12.2020).

4. Ipatov, A. G. Modifikaciya podshipnikovyh sopryazhenij turbokompressora TKR 7S-6 / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij, A. G. Ivanov // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2020. – № 6. – S. 101–106.

5. Ipatov, A. G. Sravnitel'nyj analiz rabotosposobnosti keramicheskikh antifrikcionnykh pokrytij / A. G. Ipa-

tov, E. V. Haranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 1. – S. 67–71.

6. Ipatov, A. G. Struktura i tribologicheskie svoystva sverhtverdyh uprochnyayushchih pokrytij na osnove karbida bora / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij, S. N. SHmykov // Tekhnicheskij servis mashin. – 2020. – № 2. – S. 134–140.

7. Ipatov, A. G. Charakteristiki poverhnosti sverhtverdyh keramicheskikh pokrytij, poluchennykh vysokochastotnoj lazernoj obrabotkoj / A. G. Ipatov, E. V. Hranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 2 (62). – S. 57–62.

8. Kolodochkin, M. V. Poputnyj gaz [Elektronnyj resurs] / M. V. Kolodochkin, A. YU. SHabanov // Za rulem: elektronnyj zhurnal. – URL: https://www.zr.ru/content/articles/16577-poputnyj_gaz/ (data publikacii: 01.10.2008).

9. Miheev, V. A. Zavisimost' teploprovodnosti kompozicionnogo materiala na osnove silikona ot ob'emnogo sodержaniya nitrida bora / V. A. Miheev, V. SH, Sulaberidze, V. D. Mushenko // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Priborostroenie. – 2016. – Т. 59. – № 4. – S. 317–321.

10. Pat. RU2718793C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C23C 24/08, C23C 4/12, C23C 30/00, B23K 26/144, B23K 26/342. Sposob polucheniya sverhtverdyh iznosostojkikh pokrytij s nizkim koefficientom treniya / E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov, M. D. Krivilev; zayavitel' i patentoobladatel' Haranzhevskij Evgenij Viktorovich. – N 2019106258; zayavl. 05.03.2019; opubl. 14.04.2020. – 7 s.: il.

11. Perepletchikov, E. F. Primenenie poroshkov kobal'tovyh i nikel'nykh splavov dlya plazmennoj naplavki vypusknykh klapanov dvigatelej vnutrennego sgoraniya / E. F. Perepletchikov // Avtomaticheskaya svarka. – 2012. – № 7 (711). – S. 7–12.

12. Svoystva elementov: spravochnik / Pod red. M. E. Drica. – М.: Metallurgiya, 1985. – 672 s.

13. Hinajsh, A. M. A. Termostimulirovannye processy v lyuminescencii geksagonal'nogo nitrida bora: diss. ... kand. f-m. nauk : 01.04.07 : zashchishchena 08.11.2016 : utv. 23.11.2016 / Hinajsh Ahmed Maher Ahmed. – Ekaterinburg, 2016. – 119 s. – Bibliogr.: S. 107–119.

14. Ipatov, A. G. Analysis and synthesis of functional coatings by high-speed laser processing of ultrafine powder compositions / A. G. Ipatov, S. N. Shmykov, I. A. Deryushev [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 421–430.

15. Ipatov, A. G. An analysis of the functional properties of super hard coatings on boron carbide synthesized by short-pulse laser processing / A. G. Ipatov, G. Ya. Ostaev, S. N. Shmykov [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 921–928.

16. Ipatov, A. G. The Tribological Properties of Superhard and Functional Coatings Based on Carbide and Boron Nitride / A. G. Ipatov, E. V. Kharanzhevskiy // Journal of Friction and Wear. – 2019. – Т. 40. – № 6. – S. 588–592.

17. London Metal Exchange: sajt. London, 2020 [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.lme.com/> (data obrashcheniya: 14.12.2020).

18. Pat. US6298817B1 United States, IPC F01L3/22. Exhaust valve for an internal combustion engine / Harro Andreas Hoeg; Assignee: Man B&W Diesel A/S, Copenhagen SV (DK). – N PCT/DK97/00246 ; filed on Jun. 3, 1997; Pub. Date: Dec. 18, 1997. – 10 p.: il.

19. Suri, A. K. Synthesis and consolidation of boron carbide: a review / A. K. Suri [et al.] // International Materials Reviews. – 2010. – Т. 55. – № 1. – S. 4–40.

20. Kharanzhevskiy, E. V. Ultralow friction behaviour of B₄C-BN-MeO composite ceramic coatings deposited on steel / E. V. Kharanzhevskiy, A. G. Ipatov, M. D. Krivilyov [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 390. – S. 125664.

Сведения об авторах:

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

Волков Кирилл Георгиевич – аспирант кафедры эксплуатации и ремонта машин, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: wolkow-kirill@mail.ru).

A. G. Ipatov, K. G. Volkov

Izhevsk State Agricultural Academy

ABOUT TO SUBSTANTIATE THE MATERIAL FOR THE PROTECTIVE-AND-RECOVERING COATING OF THE VALVE DISC WORKING CHAMFER

The relevance of the work lies in the absence of an effective protective-and-restorative coating of the valves' working disc of highly loaded internal combustion engines operating at elevated temperatures. The research is aimed at analyzing the feasibility of modification of metal powder compositions with components that increase the thermal and wear resistance of hardening and restoring coatings. The main tasks are to analyze a priori information about heat and wear-resistant materials, to select such materials and alloying chemical elements, and to justify their use under above conditions. To carry out the work, the diagrams of the condition of chemical elements were studied, the works akin were analyzed. As a result, the materials containing basic Ni, doped with boron carbide B₄C, oxides ZrO₂, MgO and boron nitride BN have been preferred. The compositions of these powder compositions are based on Ni that creates a matrix that perceives shock loads. Boron carbide and nitride can reduce the coefficient of friction, to increase the wear resistance. Magnesium oxide and zirconium dioxide are the strengthening chemical elements of the composition. The proposed ratio of elements allows to create coatings working at temperatures above 700 °C, not being chemically subjected to oxidation and wear.

Key words: *working chamfer of the valve; protective and restorative coating; ceramics.*

Authors:

Ipatov Aleksey Gennadievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Machine Operation and Repairs, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: Ipatow.al@yandex.ru).

Kirill Georgievich Volkov – Graduate Student, Department of Machine Operation and Repairs, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: wolkow-kirill@mail.ru).

Е. В. Харанжевский¹, А. Г. Ипатов², К. Г. Волков²

¹ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет

²ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

В современном ремонтном производстве все большее применение находят способы наращивания восстановительных и упрочняющих покрытий с использованием инновационных адаптивных технологий. Одним из наиболее привлекательных методов синтеза покрытий является высокоскоростное лазерное оплавление порошковых композиций. Свойства присадочных материалов играют особую роль в процессе восстановления деталей, поэтому важно произвести правильный выбор составов. Эффективные параметры износостойкости, термостойкости и прочности покрытий можно получить, используя керамические материалы. В данной работе основной целью исследований является анализ структуры и характеристик формируемых керамических покрытий на основе сложных порошковых материалов. В данном научном исследовании использовали метод высокоскоростного лазерного сплавления. Для нанесения покрытия использовали экспериментальную установку, состоящую из иттербиевого волоконного лазера с максимальной средней мощностью 50 Вт и длиной волны 1,065 мкм. Для лазерной обработки использовалась камера с контролируемой атмосферой. С помощью данного метода наносились такие композиции, как B_4C , $B_4C-40BN$, $B_4C-40BN-10MgO$. Качество покрытий сильно зависит от их состава, энергетических режимов лазерной обработки, а также от толщины многослойного покрытия. К показателям качества относим шероховатость поверхности, наличие трещин в покрытии и однородность состава покрытий по площади поверхности. Нанесение чистого карбида бора приводит к формированию сильно искаженной поверхности образца с высокой шероховатостью и микротрещинами. Добавление BN в состав покрытия увеличивает однородность покрытий, уменьшает число трещин, но и уменьшает толщину полученных покрытий. Добавление оксида магния позволяет существенно уменьшить число трещин, возникающих в покрытии, и увеличить толщину наносимых покрытий до 200 мкм. Полное подавление возникновения трещин возможно на покрытиях толщиной до 20 мкм, в составе которых содержится как оксид магния, так и оксид лития.

Ключевые слова: восстановительные и упрочняющие покрытия; лазерное оплавление; керамические материалы.

Актуальность. В современном ремонтном производстве все большее применение находят способы наращивания восстановительных и упрочняющих покрытий с использованием инновационных адаптивных технологий. Одним из наиболее привлекательных методов является синтез покрытий с использованием высокоскоростного лазерного оплавления порошковых материалов [2, 3, 7, 8, 10]. Использование данной технологии позволяет создавать покрытия из различных порошковых композиций со свойствами, отличными от основы изделия, что определяет возможность повышения ресурса изделия за счет изменения физико-механических свойств. Послойное наращивание покрытия обеспечивает необходимую толщину и градиентность свойств по толщине. Свойства покрытий определяются свойствами присадочного материала. Из огромной номенклатуры материалов керамические соединения обеспечивают наиболее эффективные параметры износостойкости, термостойкости, прочности покрытий. Поэтому задача по оптимизации состава керамических присадочных материа-

лов, разработка адаптивной технологии синтеза покрытий с использованием высокоскоростного лазерного оплавления являются актуальными в современном ремонтном производстве.

Цель исследований. В данной работе основной целью исследований является анализ структуры и характеристик формируемых керамических покрытий на основе сложных порошковых материалов.

Материал и методы исследований. Тонкие многослойные покрытия на основе карбида или нитрида бора обычно формируются методами химического осаждения из паровой фазы. Нанесение карбида и нитрида бора возможно также при магнетронном распылении с использованием соответствующих мишеней [9]. Основным ограничением этих методов является низкая адгезионная стойкость покрытия. Поэтому такие сверхтвердые покрытия наносятся на подложки из твердых сплавов и в основном используются для режущих инструментов. В связи с этим в данном научном исследовании использовали метод высокоскоростного лазерного сплавления (ВЛС), описан-

ного в работах [1, 4, 5, 6]. Для нанесения покрытия использовали экспериментальную установку, состоящую из иттербиевого волоконного лазера с максимальной средней мощностью 50 Вт и длиной волны 1,065 мкм. Для лазерной обработки использовалась камера с контролируемой атмосферой. Камеру продували аргоном высокой чистоты в течение 2 мин. (рис. 1).

Топографию облученных лазером поверхностей изучали методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе FEI INSPECT S50. Микроскоп был оснащен энергодисперсионным рентгеновским (EDX) детектором.

Результаты исследований. Качество покрытий сильно зависит от их состава, энергетических режимов лазерной обработки, а также от толщины многослойного покрытия. К показателям качества относим шероховатость поверхности, наличие трещин в покрытии и однородность состава покрытий по площади поверхности.

На рисунке 2 приведены результаты металлографического анализа многослойных керамических покрытий (5 последовательно нанесенных слоев). Рисунок 2 демонстрирует влияние состава на вид и качество покрытий. Как видно на рисунке 2а, нанесение чистого карбида бора приводит к формированию сильно искаженной поверхности образца с высокой шероховатостью. Также видно накопление большого количества дефектов и растрескивание покрытия, при этом нанесение последующих слоев приводит к накоплению дефектов и увеличению числа трещин, приходящихся на единицу площади поверхности. Добавление BN в состав покрытия (рис. 2б) увеличивает однородность покрытий, уменьшает число трещин, но и уменьшает толщину полученных покрытий. Добавление оксида магния позволяет существенно уменьшить число трещин, возникающих в покрытии, и увеличить толщину наносимых покрытий до 200 мкм.

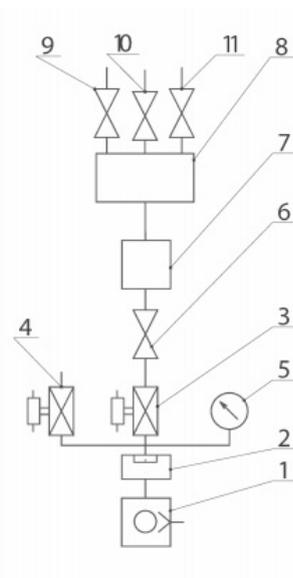


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для получения керамических покрытий

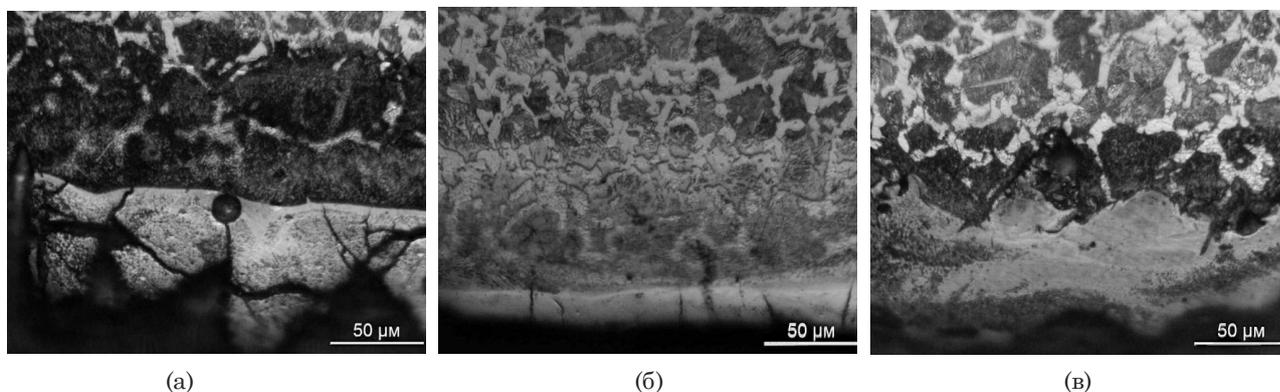


Рисунок 2 – Металлографический анализ образцов с покрытиями толщиной 50 мкм на стали 40:
а) покрытие B_4C ; б) $B_4C-40BN$; в) $B_4C-40BN-10MgO$

Образование трещин связано не только с сильным различием коэффициента линейного температурного расширения подложки и керамического слоя, но также связано с большим градиентом температуры при короткоимпульсной лазерной обработке. Как показано по результатам рентгеноструктурного анализа (измерение остаточных напряжений), в результате резкой разницы температур на поверхности, в зоне обработки и в подложке, после остывания подложка испытывает значительные (до 2 ГПа) сжимающие напряжения, а покрытие – растягивающие, что и приводит к её растрескиванию.

Полное подавление возникновения трещин возможно на покрытиях толщиной до 20 мкм, в составе которых содержится как оксид магния, так и оксид лития. Оптимальный состав покрытия с этой точки зрения представляет $B_4C-40\% BN-10\% MgO-10\% Li_2O$.

Результаты измерения шероховатости трехслойных покрытий с толщиной 15 мкм сведены в таблице 1. Как видно, добавление оксида лития в состав покрытия значительно уменьшает результирующую шероховатость поверхности.

Таблица 1 – Шероховатость трехслойных покрытий толщиной 15 мкм в зависимости от их состава. Значения R_a и R_z приведены усредненными по пяти различным участкам снятия профилограмм размерами 1200×880 мкм каждый

№	Состав покрытия	R_a , мкм	R_z , мкм
1	B_4C	4,0	50
2	$B_4C-40\% BN$	1,5	20
3	$B_4C-40\% BN-10\% MgO$	0,7	8
4	$B_4C-40\% BN-10\% Li_2O$	0,7	8
6	$B_4C-40\% BN-10\% MgO-10\% Li_2O$	0,5	6

Выводы. Представленные результаты исследований структуры покрытий позволяют утверждать о возможности получения восстановительных и упрочняющих композиций из керамических материалов. На основе цикла исследований определено оптимальное сочетание композиции присадочного порошкового материала на основе карбида бора. Из исследований следует, что минимальное растрескивание структуры и высокое качество поверхности достигается при использовании керамической порошковой композиции с добавлением нитрида бора, оксида магния и лития. Полученные

результаты могут стать основой для дальнейших исследований в области проектирования функциональных покрытий в различных отраслях машиностроения.

Список литературы

- Ипатов, А. Г. Некоторые параметры работоспособности модифицированных молотков молотковых дробилок / А. Г. Ипатов, В. И. Ширококов, С. Н. Шмыков, Е. В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1. – С. 6–10.
- Ипатов, А. Г. Повышение износостойкости подшипников скольжения сверхтвердыми материалами / А. Г. Ипатов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 10. – С. 16–20.
- Ипатов, А. Г. Структура и трибологические свойства сверхтвердых упрочняющих покрытий на основе карбида бора / А. Г. Ипатов, Е. В. Харанжевский, С. Н. Шмыков // Технический сервис машин. – 2020. – № 2. – С. 134–140.
- Пат. RU 2497978 С2 Российская Федерация, МПК С23С 24/08, В22F 3/105. Способ формирования покрытия и установка для его осуществления / А. Г. Ипатов, С. С. Стрелков, С. М. Стрелков, Е. В. Харанжевский; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – N 2011130871/02; заявл. 22.07.2011; опубл. 10.11.2013. – 10 с.: ил.
- Стрелков, С. М. Износостойкость пористых покрытий / С. М. Стрелков, Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов // Сельский механизатор. – 2010. – № 3. – С. 31–31.
- Стрелков, С. М. Некоторые проблемы восстановления подшипниковых сопряжений турбокомпрессоров / С. М. Стрелков, А. Г. Ипатов, А. Н. Давыдов // Вестник Ижевской ГСХА. – 2014. – № 1. – С. 31–35.
- Харанжевский, Е. В. Структура и топография поверхностных слоёв, полученных лазерным высокоскоростным спеканием порошков Fe-C-Ni, Fe-C-Cu / Е. В. Харанжевский, А. Г. Ипатов // Вестник Удмуртского университета. Серия Физика и химия. – 2010. – № 4–1. – С. 74–83.
- Ширококов, В. И. Анализ работы дробилок зерна / В. И. Ширококов, А. Г. Ипатов, Л. Я. Новикова, С. Н. Шмыков, А. Г. Бастрогов, С. В. Хохряков // Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства: м-лы Международной научно-практической конференции в 3 т. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2017. – С. 326–333.
- Ipatov A. G. An analysis of the functional properties of super hard coatings on boron carbide synthesized by short-pulse laser processing / A. G. Ipatov, G. Ya. Osttaev, S. N. Shmykov [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 921–928.

10. Ipatov A. G. Analysis and synthesis of functional coatings by high-speed laser processing of ultrafine powder compositions / A. G. Ipatov, S. N. Shmykov, I. A. Deryushev [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 421–430.

Spisok literatury

1. Ipatov, A. G. Nekotorye parametry rabotosposobnosti modificirovannykh molotkov molotkovykh drobilok / A. G. Ipatov, V. I. SHirobokov, S. N. SHmykov, E. V. Haranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014. – № 1. – С. 6–10.

2. Ipatov, A. G. Povyshenie iznosostojkosti podshipnikov skol'zheniya sverhtverdymi materialami / A. G. Ipatov // Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. – 2019. – № 10. – С. 16–20.

3. Ipatov, A. G. Struktura i tribologicheskie svoystva sverhtverdyyh uprochnyayushchih pokrytij na osnove karbida bora / A. G. Ipatov, E. V. Haranzhevskij, S. N. SHmykov // Tekhnicheskij servis mashin. – 2020. – № 2. – С. 134–140.

4. Pat. RU 2497978 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK C23C 24/08, B22F 3/105. Sposob formirovaniya pokrytiya i ustanovka dlya ego osushchestvleniya / A. G. Ipatov, S. S. Strelkov, S. M. Strelkov, E. V. Haranzhevskij; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». – N 2011130871/02; zayavl. 22.07.2011; opubl. 10.11.2013. – 10 s.: il.

5. Strelkov, S. M. Iznosostojkost' poristykh pokrytij / S. M. Strelkov, E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov // Sel'skij mekhanizator. – 2010. – № 3. – С. 31–31.

6. Strelkov, S. M. Nekotorye problemy vosstanovleniya podshipnikovykh sopryazhenij turbokompressorov / S. M. Strelkov, A. G. Ipatov, A. N. Davydov // Vestnik Izhevskoj GSKHA. – 2014. – № 1. – С. 31–35.

7. Haranzhevskij, E. V. Struktura i topografiya povrhnostnykh slojov, poluchennykh lazernym vysokoskorostnym spekaniem poroshkov Fe-C-Ni, Fe-C-Cu / E. V. Haranzhevskij, A. G. Ipatov // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Fizika i himiya. – 2010. – № 4–1. – С. 74–83.

8. SHirobokov, V. I. Analiz raboty drobilok zerna / V. I. SHirobokov, A. G. Ipatov, L. YA. Novikova, S. N. SHmykov, A. G. Bastrigov, S. V. Hohryakov // Nauchno obosnovannye tekhnologii intensivkacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: m-ly Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v 3 t. – Izhevsk: Izhevskaya GSKHA, 2017. – С. 326–333.

9. Ipatov A. G. An analysis of the functional properties of super hard coatings on boron carbide synthesized by short-pulse laser processing / A. G. Ipatov, G. Ya. Ostaev, S. N. Shmykov [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 921–928.

10. Ipatov A. G. Analysis and synthesis of functional coatings by high-speed laser processing of ultrafine powder compositions / A. G. Ipatov, S. N. Shmykov, I. A. Deryushev [et al.] // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 421–430.

Сведения об авторах:

Харанжевский Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, Удмуртский государственный университет (426034, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: eh@udsu.ru).

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

Волков Кирилл Георгиевич – аспирант кафедры эксплуатации и ремонта машин, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: wolkow-kirill@mail.ru).

Ye. V. Kharanzhevsky¹, A. G. Ipatov², K. G. Volkov²

¹Udmurt State University

²Izhevsk State Agricultural Academy

PECULIARITIES OF FORMATION OF THE CERAMIC RECOVERING COATINGS

In modern repairing process, methods of increasing the recovery and strengthening coatings with the use of innovative adaptive technologies are increasingly used. One of the most attractive methods of coating synthesis is high-speed laser reflow of powder compositions. The properties of additive materials play a prominent role in the process of restoring parts, so it is important to make the right choice of compositions. Effective parameters of wear and heat resistance and strength of coatings can be obtained using ceramic materials. In this paper, the main purpose of the research is to analyze the structure and characteristics of the formed ceramic coatings based on complex powder materials. In this research, the method of high-speed laser fusion was used. An experimental assembly was used for coating consisting of an ytterbium fiber laser with a maximum average power of 50 W and a wavelength of 1.065 microns. A chamber with the controlled atmosphere was used for laser processing. The quality of the coatings strongly depends

on their composition, the energy modes of laser processing, as well as on the thickness of the multilayer coating. For the purpose, the following compositions like B_4C , $B_4C-40BN$, and $B_4C-40BN-10MgO$ were applied. The quality indicators are referred to the surface roughness, the presence of cracks in the coating and the uniformity of the coating composition over the surface area. Application of pure boron carbide leads to the formation of a highly distorted sample surface with high roughness and microcracks. The complementary BN in the coating composition increases the uniformity of the coatings, reduces the number of cracks, however, reducing the thickness of the resulting coatings. The addition of magnesium oxide can significantly reduce the number of cracks occurring within the coating, and to increase the thickness of the applied coatings to 200 microns. Complete crack suppression is possible on the coatings with a thickness of up to 20 microns and containing both magnesium oxide and lithium oxide.

Key words: recovering and strengthening coatings; laser reflow; ceramic materials.

Authors:

Kharanzhevsky Yevgeny Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Udmurt State University (1, Universitetskaya St., Izhevsk, 426034, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: eh@udsu.ru).

Ipatov Aleksey Gennadievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Machine Operation and Repairs, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: Ipatow.al@yandex.ru).

Kirill Georgievich Volkov – Graduate Student, Department of Machine Operation and Repairs, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: wolkow-kirill@mail.ru).

УДК 631.356.43.02

DOI 10.48012/1817-5457_2021_1_55

В. Ф. Первушин¹, М. З. Салимзянов¹, Н. Г. Касимов¹,
В. И. Ширококов¹, И. Ю. Лебедев²

¹ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

²ООО «КриптоСвязь»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ГРОХОТА КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ

Одним из способов повышения производительности и снижения энергетических затрат при уборке картофеля является комбинированное использование различных рабочих органов. Такое комбинированное применение рабочих органов позволяет корректировать процесс сепарации вороха и повысить эффективность работы агрегата. На картофелекопатель КТН-2В для сепарации вороха наряду с прутковым элеватором планируется использовать устройство грохотной конструкции. Для обоснования режимов работы грохота необходимо выявить оптимальные условия, при которых ворох, перемещаясь вверх по решетке, будет интенсивно сепарироваться, а клубни отделяться от почвы.

В результате теоретических исследований и экспериментов было установлено, что более эффективное сепарирование и перемещение материала по колеблющейся решетке может быть достигнуто лишь при режимах с отрывом частиц от решетки. Предельные углы наклона решетки: до 17° при режиме с подбрасыванием и не выше 7° при режиме скольжения. Для достижения необходимых режимов работы грохота с подбрасыванием требующиеся ускорения более целесообразно получать путем увеличения числа оборотов, а не амплитуды колебаний. При этом использование амплитуды более 0,030 м не рационально.

Ключевые слова: картофель; грохот; амплитуда; частота; скорость; ускорение.

Теоретические вопросы, связанные с перемещением материальной частицы по плоскости, совершающей колебательное движение, довольно подробно разработаны применительно к грохотам, используемым в горнодобывающей промышленности и очистке зерна. С этими грохотами проведены значительные экспериментальные работы. Однако грохоты, применяемые в картофелеуборочных машинах,

имеют специфические особенности. Технологический процесс, осуществляемый ими, отличается от процесса, выполняемого упомянутыми выше грохотами.

Кинематическая схема качающегося грохота показана на рисунке 1. Характер перемещения материала по решетке грохота определяется следующими параметрами: числом оборотов n в минуту; амплитудой A (радиусом кривоши-

па); углом α наклона грохота к горизонтали; углом γ между направлением колебаний и горизонталью; углом β между направлением колебаний и плоскостью решета грохота ($\beta = \gamma - \alpha$).

На частицу, находящуюся на решетке (рис. 2), действует сила тяжести $G = mg$; сила инерции от возвратно-поступательного движения $J = mj = m\omega^2 A \cos\omega t$; сила нормального давления (реакция) N ; сила трения $F = Nf$.

Силой инерции, возникающей в результате движения решета грохота по дуге вокруг точек подвеса, пренебрегаем, так как отношение амплитуды колебаний к длине подвесок очень мало, и с достаточной точностью можно предположить, что движение происходит по прямой.

Характер и направление движения частицы по решетке грохота зависит от величины и направления ускорения решета:

$$j_p = \omega^2 A \cos \omega t. \quad (1)$$

Скольжение почвы вверх (прямое) обеспечивается при ускорении решета

$$j_p \geq g \frac{\sin\alpha + f\cos\alpha}{\cos(\gamma - \alpha) + f\sin(\gamma - \alpha)}, \quad (2)$$

а скольжение вниз (обратное) при ускорении

$$j_p \geq g \frac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{\cos(\gamma - \alpha) - f\sin(\gamma - \alpha)}. \quad (3)$$

Теоретический анализ и данные экспериментов показывают, что более эффективное сепарирование и перемещение материала по колеблющемуся решетке, имеющему наклон вверх, может быть достигнуто лишь при режимах, при которых обеспечивается отрыв частиц от решета. Согласно данным [1, 2, 5, 7], работа при режимах с подбрасыванием позволяет транспортировать материал вверх по решетке (рис. 2).

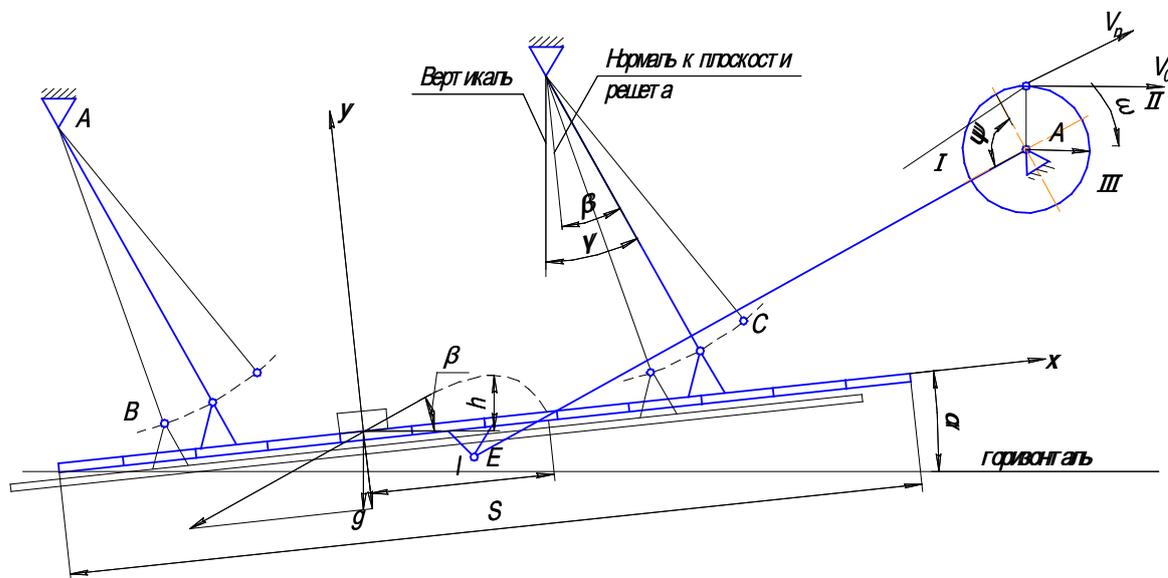


Рисунок 1 – Обобщенная схема качающегося грохота

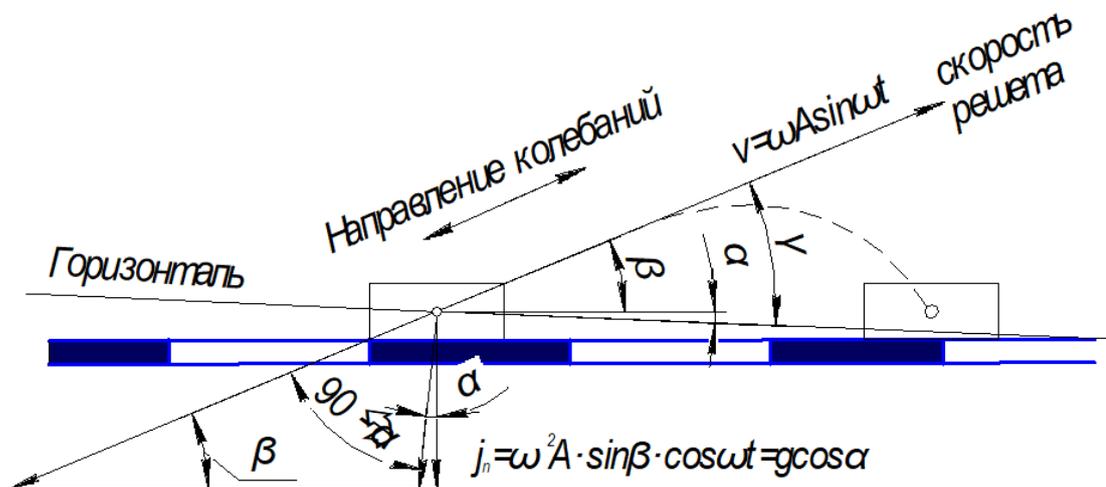


Рисунок 2 – Перемещение частицы по решетке качающегося грохота с подбрасыванием

Предельные углы подъема материала без подбрасывания и с подбрасыванием соответственно равны:

$$\alpha_{1max} = \text{arc tg}(f^2 \text{tg}\beta);$$

$$\alpha_{2max} = \text{arc tg}\left(\frac{\lambda_1}{2 - \lambda_1} \cdot \frac{1 - k}{1 + k} \text{ctg}\beta\right),$$

где f и λ_1 – коэффициенты трения скольжения и мгновенного трения;

k – коэффициент восстановления.

Коэффициент мгновенного трения $0 \ll \lambda_1 \ll 1$ связывает продольные составляющие скоростей частицы до удара u_{1t} и после удара u_{2t} по отношению $u_{2t} = u_{1t}(1 - \lambda_1)$.

Если допустить, что коэффициенты f и λ_1 равны (возможность такой гипотезы подтверждается данными И. И. Блехмана и Г. Ю. Дженелидзе), то из анализа этих формул вытекает, что при режиме с подбрасыванием частица может подниматься вверх при углах наклона решета до 17° , в то время как при режимах скольжения – при углах наклона не выше 7° .

Для осуществления подбрасывания частицы решетом необходимы следующие условия:

1. Нормальная составляющая скорости решета должна быть направлена вверх.
2. Нормальная составляющая ускорения решета должна быть направлена вниз.
3. Абсолютная величина нормальной составляющей ускорения решета j_n должна быть равна или больше нормальной составляющей ускорения свободного падения:

$$j_n = g \cos \alpha.$$

Следовательно, подбрасывание почвы возможно только во втором квадранте, если ускорение решета

$$j_n \approx \omega^2 A \cos \omega t \geq \frac{g \cos \alpha}{\sin(\gamma - \alpha)}. \quad (4)$$

Теоретически возможен также случай отрыва частицы от решета грохота в III квадранте, где скорость решета направлена вниз. В этом случае произойдет явление не подбрасывания частицы, а отставания от решета.

Если разложить траекторию и скорость движения грохота с прямолинейными колебаниями на два взаимно перпендикулярных направления, то окажется, что движения решета, направленные вдоль его поверхности, происходят по закону, весьма близкому к закону синусоиды.

По оси абсцисс всех скоростных диаграмм, показанных на рисунке 3, $a-d$, отложено время t или пропорциональный ему угол поворота вала φ . Для упрощения графики построены для горизонтального положения решета грохота ($\alpha = 0$). Но все отмеченные ниже закономерности справедливы и для случая, когда решето грохота имеет положительный угол наклона.

Различают пять основных режимов работы грохота [3–6, 8]: тихходный, полубыстроходный с двумя паузами, полубыстроходный с одной паузой, быстроходный (без пауз) и с подбрасыванием. При тихходном режиме (рис. 3, а) слагающая v скорости решета и частицы совпадают до точки k (угол отрыва φ_k), в которой отрицательное ускорение решета становится настолько большим, что сила инерции преодолевает силу трения, и частица начинает скользить по решету. Между точками k и m скорость частицы u уже не совпадает со скоростью грохота v .

В течение одного оборота скольжение происходит только один раз в сторону подачи. Обратное скольжение отсутствует. Пройденный в период скольжения путь, или так называемая подача за один ход, графически изобразится на скоростной диаграмме, заштрихованной площадкой F_k .

Увеличение числа оборотов приводит к полубыстроходному режиму с двумя паузами между точками mq и nk' (рис. 3, б). При этом режиме частица имеет скольжение как вперед, так и назад.

Абсолютное перемещение за один ход определяется разностью площадок ($F_k - F_q$). При дальнейшем увеличении числа оборотов грохот переходит на полубыстроходный режим работы с одной паузой nk' (рис. 3, в), а затем на быстроходный режим без пауз (рис. 3, г).

Увеличивая и далее окружную скорость, можно заставить грохот работать при режиме с подбрасыванием материала (рис. 3, д). При этом в начале цикла происходит скольжение sd , но в некоторый момент времени (точка d), когда соблюдается условие подбрасывания [4], частица отрывается от поверхности грохота и движется далее как тело, брошенное под углом γ к горизонту.

Как указывалось выше, теоретически возможен случай отделения (отрыва) частицы от плоскости решета не за счет подбрасывания, а за счет «ухода» решета вниз. Это может происходить в третьем квадранте, когда скорость решета направлена вниз. Но практически частица в этот момент времени уже должна находиться в полете, поэтому такой случай может иметь место для частиц, которые упали на решето уже в III квадранте. Этот случай нехарактерен.

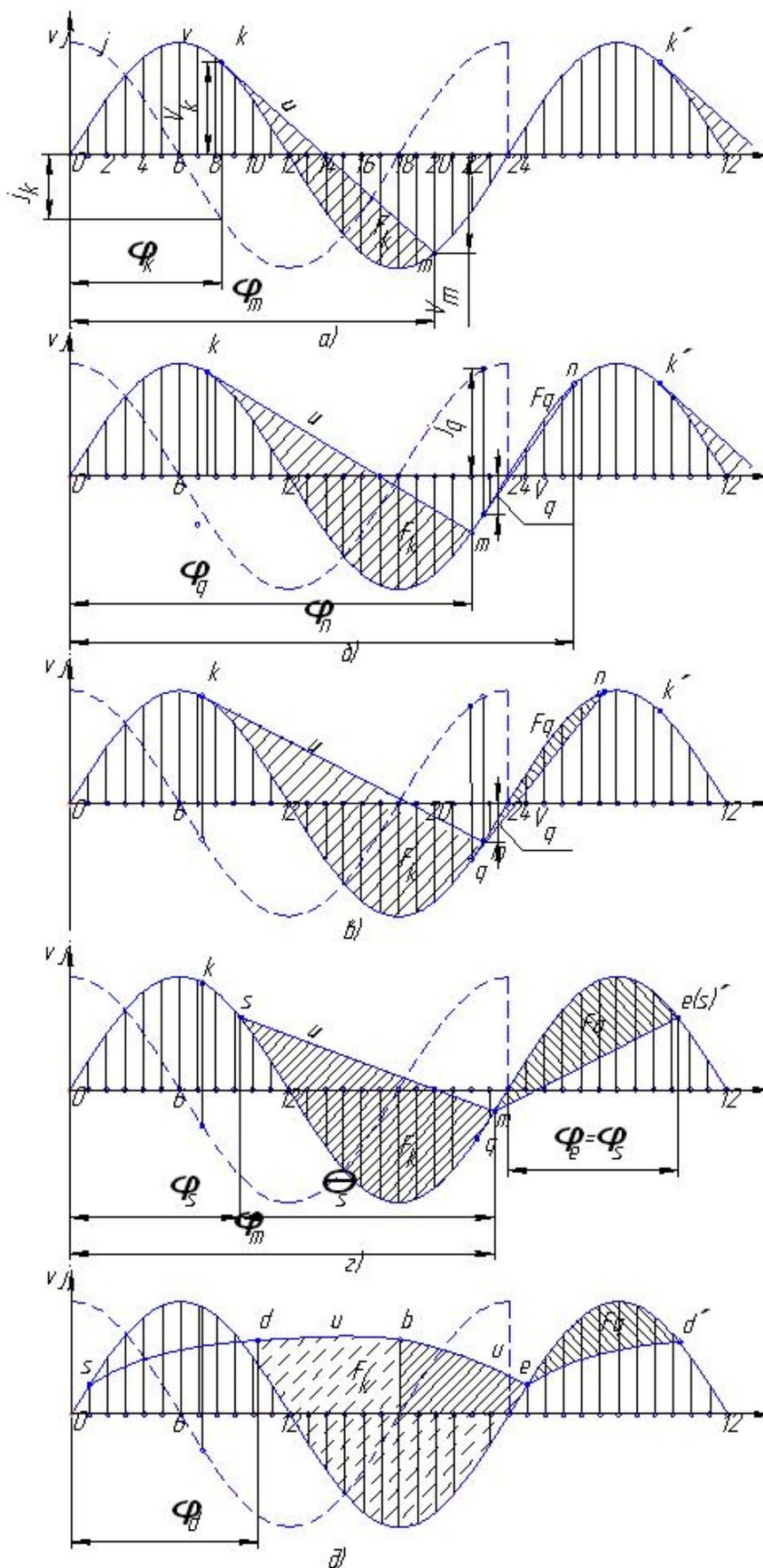


Рисунок 3 – Скоростные диаграммы грохота:
 а – тихоходный режим (без обратного скольжения материала); б – режим с двумя паузами;
 в – режим с одной паузой; г – быстроходный режим без паузы;
 д – режим с подбрасыванием материала

При дальнейшем увеличении амплитуды теоретически можно достигнуть режима работы грохота, когда время полета частицы будет равно времени одного, двух-трех и т.д. оборотов кривошипного вала.

Для определения времени полета частицы, пользуясь рисунками 2 и 3, составим дифференциальные уравнения движения частицы при свободном полете:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2y}{dt^2} &= -G \cos \alpha \rightarrow \frac{d^2y}{dt^2} = -g \cos \alpha \\ m \frac{d^2x}{dt^2} &= -G \sin \alpha \rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -g \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В начальных условиях при $t = 0$; $x = 0$; $y = 0$.

Интегрируя систему (5) первый раз, получим:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -g \sin \alpha t + c_1; \\ \frac{dy}{dt} &= -g \cos \alpha t + c_2. \end{aligned}$$

Из начальных условия находим:

$$\begin{aligned} c_1 &= u_0 \cos \beta; \\ c_2 &= u_0 \sin \beta, \end{aligned}$$

где $u_0 = v_0 \sin \omega t_0$ – начальная скорость полета.

Тогда

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= u_0 \cos \beta - g t \sin \alpha; \\ \frac{dy}{dt} &= u_0 \sin \beta - g t \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Интегрируя систему (6), получим:

$$\begin{aligned} x &= u_0 \cos \beta t - \frac{g t^2}{2} \sin \alpha + c_3; \\ y &= u_0 \sin \beta t - \frac{g t^2}{2} \cos \alpha + c_4. \end{aligned}$$

Из начальных условий находим и окончательно получаем:

$$\begin{aligned} x &= u_0 \cos \beta t - \frac{g t^2}{2} \sin \alpha; \\ y &= u_0 \sin \beta t - \frac{g t^2}{2} \cos \alpha. \end{aligned} \quad (7)$$

Для перехода от параметрических уравнений движений частицы к уравнению $y = f(x)$ необхо-

димо исключить время t . В поставленной нами задаче достаточно приравнять ординату y нулю во втором уравнении системы (7), что позволит определить время падения частицы на решетку:

$$y = u_0 \sin \beta t - \frac{g t^2}{2} \cos \alpha = 0,$$

откуда время полета

$$t = \frac{2u_0 \sin \beta}{g \cos \alpha}. \quad (8)$$

Для соблюдения непрерывности подскоков частицы время t должно быть равно времени одного оборота

$$\frac{2u_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} = \frac{2\pi}{\omega},$$

откуда

$$u_0 = \frac{\pi g \cos \alpha}{\sin \beta \omega}. \quad (9)$$

Подставив в выражение (9) $u_0 = v_0 \sin \omega t_0 = \omega A \sin \omega t_0$, получаем значение синуса угла отрыва ωt_0 , при котором обеспечивается критический режим

$$\sin \omega t_0 = \frac{\pi g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta}. \quad (10)$$

Выразим угол отрыва ωt_0 через ускорение решета, используя уравнение (4):

$$\cos \omega t_0 = \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta}.$$

Поскольку $\cos x = \sqrt{1 - \sin^2 x}$, то

$$\sqrt{1 - \sin^2 \omega t_0} = \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta};$$

$$\sin \omega t_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta} \right)^2}. \quad (11)$$

Подставляя в уравнение (10) значения $\sin \omega t_0$ из формулы (11), получим:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta} \right)^2} = \frac{\pi g \cos \alpha}{\omega^2 A \sin \beta},$$

или

$$(\pi g \cos \alpha)^2 + (g \cos \alpha)^2 = \omega^2 A \sin^2 \beta.$$

Откуда

$$\omega^2 A = \frac{\sqrt{(\pi g \cos \alpha)^2 + (g \cos \alpha)^2}}{\sin \beta} = \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta} \sqrt{(\pi)^2 + 1},$$

$$(\omega^2 A)_1 = 3,3 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (12)$$

Если задаться условием, что время полета частицы равно времени двух оборотов кривошипа,

$$t = \frac{2u_0 \sin \beta}{g \cos \alpha} = \frac{4\pi}{\omega},$$

и далее проделать те же математические преобразования, то получим ускорение

$$(\omega^2 A)_2 = 6,36 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (13)$$

Аналогично можно определить ускорения для случаев, когда время полета равно времени нескольких оборотов.

На основании теоретических выкладок рассчитаны численные значения параметров n и A , обеспечивающих критические режимы. Число оборотов, необходимое для осуществления подбрасывания, определено по формуле

$$n_n = 30 \sqrt{\frac{\cos \alpha}{A \sin \beta}}, \quad (14)$$

а критические числа оборотов по формуле

$$n_{кр} = 30 \sqrt{\frac{N \cos \alpha}{A \sin \beta}}, \quad (15)$$

где коэффициенты $N = 3,3; 6,36; 9,47; 12,6; 15,7; 18,9$ и т. д.

Расчетные данные приведены на графике (рис. 4). Графики, связывающие величины n и N , являются кривыми гиперболического типа, у которых обе ветви асимптотически приближаются к осям координат.

Из анализа графиков следует, что для достижения необходимых режимов работы грохота с подбрасыванием требующиеся ускорения более целесообразно получать путем увеличения числа оборотов, а не амплитуды колебаний.

Из графика видно, что с увеличением амплитуды в пределах 0,005–0,015 м резко снижаются потребные для обеспечения режимов с подбрасыванием числа оборотов. Увеличение амплитуды в интервале 0,015–0,030 м в мень-

шей степени влияет на изменение числа оборотов, дальнейшее увеличение практически не влияет совсем, поскольку кривые асимптотически приближаются к оси абсцисс. Таким образом, теоретический анализ показывает, что использование амплитуды более 0,030 м нерационально.

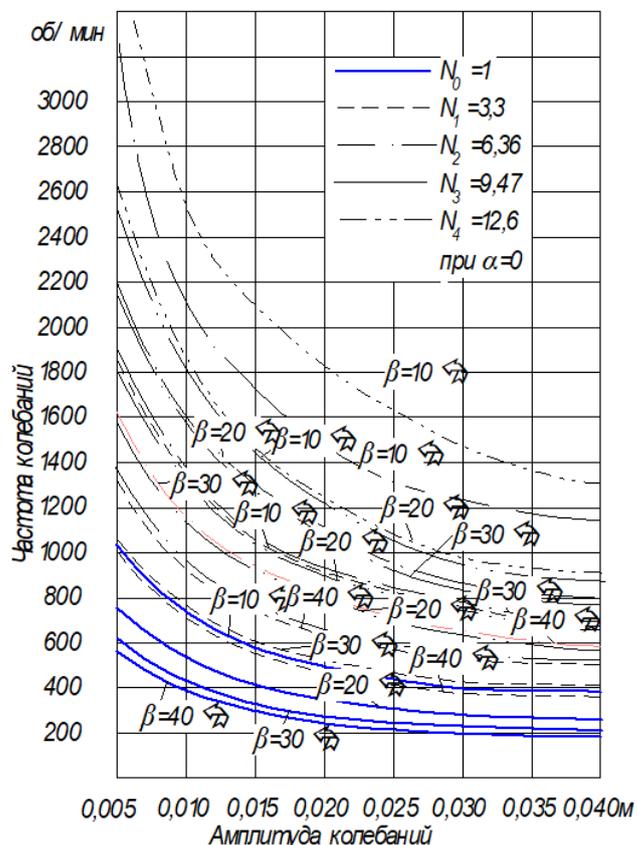


Рисунок 4 – Диаграмма для выборов режимов работы грохота в зависимости от частоты и амплитуды колебания

Для увеличения скорости транспортирования наиболее желательным режимом работы грохота следует считать такой, при котором дальность полета l будет максимальной (при одной и той же начальной скорости частицы u_0 в момент ее отрыва от поверхности грохота).

Выводы. Теоретические исследования позволили:

- выявить, что более эффективное сепарирование и перемещение материала по колеблющемуся решету может быть достигнуто лишь при режимах, при которых обеспечивается отрыв частиц от решета;
- для достижения необходимых режимов работы грохота с подбрасыванием требующиеся ускорения более целесообразно получать путем увеличения числа оборотов, а не амплитуды колебаний;

- определить основные конструктивные параметры грохота;
- использование амплитуды более 0,030 м нерационально.

Полученные выражения могут быть использованы для составления программы расчета на ПЭВМ при обосновании рациональных параметров рабочего органа.

Список литературы

1. Патент № 158737 U1 Российская Федерация, МПК А01D 13/00. / Картофелекопатель: № 2015119094/13; заявл. 20.05.15; опубл. 20.01.16 / Первушин В. Ф., Левшин А. Г., Салимзянов М. З., Фатыхов И. Ш., Касимов Н. Г., Шамаев Е. В., Лебедев И. Ю. // Бюл. № 2. – 9 с
2. Патент № 2388199 С2 Российская Федерация, МПК А01В21 / Ротационный рыхлитель: № 2008114768/12; заявл. 15.04.08 ; опубл. 10.05.10 / Первушин В. Ф.; Салимзянов М. З; Фатыхов И. Ш.; Абдуллин Ф. М. // Бюл. № 13. – 8 с.
3. Патент № 2473196 С2 Российская Федерация, МПК А01В39/00, А01В35/00 /Культиватор для ухода за растениями картофеля: № 2011109342/13; заявл. 11.03.11 ; опубл. 27.01.13 / Первушин В. Ф.; Салимзянов М. З; Фатыхов И. Ш. // Бюл. № 3. – 6 с.
4. Первушин, В. Ф. К обоснованию схемы конструкции ботвоуборочной машины / В. Ф. Первушин // Тезисы докладов к научно-практической конференции ИЖГСХА. – Ижевск, 1998.
5. Петров, Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г. Д. Петров. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
6. Первушин, В. Ф. Применение стеклопластиковых прутков на элеваторах картофелеуборочных машин / В. Ф. Первушин, М. З. Салимзянов, Н. Г. Касимов, Е. В. Шамаев, И. Ю. Лебедев // Вестник ИЖГСХА. – 2015. – № 3 (44). – С. 43–47.
7. Peters, R. Technik im Kartoffelbau. KTBL-Schrift 276, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup. – 1991.

8. Wirsing, F. Drusch- und Hackfruchtproduktion / F. Wirsing, B. Kartoffeln, M. Seiffert. – Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1981. – 399 p.

Spisok literatury

1. Patent № 158737 U1 Rossijskaya Federaciya, MPKA01D 13/00. /Kartofelekopatel': № 2015119094/13; zayavl. 20.05.15; opubl. 20.01.16 / Pervushin V. F., Levshin A. G., Salimzyanov M. Z., Fatyhov I. SH., Kasimov N. G., SHamaev E. V., Lebedev I. YU. // Byul. № 2. – 9 s
2. Patent № 2388199 S2 Rossijskaya Federaciya, MPK A01V21 / Rotacionnyj ryhlitel': № 2008114768/12; zayavl. 15.04.08 ; opubl. 10.05.10 / Pervushin V. F.; Salimzyanov M. Z; Fatyhov I. SH.; Abdullin F. M. // Byul. № 13. – 8 s.
3. Patent № 2473196 S2 Rossijskaya Federaciya, MPK A01V39/00, A01V35/00 /Kul'tivator dlya uhoda za rasteniyami kartofelya: № 2011109342/13; zayavl. 11.03.11 ; opubl. 27.01.13 / Pervushin V. F.; Salimzyanov M. Z; Fatyhov I. SH. // Byul. № 3. – 6 s.
4. Pervushin, V. F. K obosnovaniyu skhemy konstrukcii botvouborochnoj mashiny / V. F. Pervushin // Tezisy dokladov k nauchno-prakticheskoj konferencii IzhGSKHA. – Izhevsk, 1998.
5. Petrov, G. D. Kartofeleuborochnye mashiny / G. D. Petrov. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 320 s.
6. Pervushin, V. F. Primenenie stekloplastikovyh prutkov na elevatorah kartofeleuborochnyh mashin / V. F. Pervushin, M. Z. Salimzyanov, N. G. Kasimov, E. V. SHamaev, I. YU. Lebedev // Vestnik IzhGSKHA. – 2015. – № 3 (44). – S. 43–47.
7. Peters, R. Technik im Kartoffelbau. KTBL-Schrift 276, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup. – 1991.
8. Wirsing, F. Drusch- und Hackfruchtproduktion / F. Wirsing, B. Kartoffeln, M. Seiffert. – Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1981. – 399 p.

Сведения об авторах:

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

Касимов Николай Гайсович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Широбоков Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Лебедев Иван Юрьевич – инженер, ООО «КриптоСвязь» (426011, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Бородина, 21, e-mail: fos1973@yandex.ru).

V. F. Pervushin¹, M. Z. Salimzyanov¹, N. G. Kasimov¹, V. I. Shirobokov¹, I. Yu. Lebedev²

¹Izhevsk State Agricultural Academy

²ООО «KriptoSvyaz»

THEORETICAL STUDIES OF THE POTATO DIGGER SCREEN OPERATION

One of the ways to increase productivity and reduce energy costs when harvesting potatoes is the combined use of different working bodies. This combined use of working bodies allows you to adjust the process of separation of the pile and increase the efficiency of the unit. On the KTN-2V potato digger, for the separation of the heap, along with the bar elevator, it is planned to use a screening device. To substantiate the operating modes of the screen, it is necessary to identify the optimal conditions under which the heap, moving up the sieve, will be intensively separated, and the tubers will be separated from the soil.

As a result of theoretical studies and experiments have made it possible to obtain more effective separation and movement of material along an oscillating sieve when separation of foreign particles from the sieve is ensured. Limit angles of the sieve inclination: up to 17° in the throw-up mode and not higher than 7° in the sliding mode. In order to achieve the necessary operating modes of the screen with a toss, it is more expedient to obtain the required accelerations by increasing the number of revolutions, and not the amplitude of oscillations. At the same time, to reveal an amplitude of more than 0.030 m as irrational.

Key words: potatoes; bolt; amplitude; frequency; speed; acceleration.

Authors:

Pervushin Vladimir Fyodorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Operation and Repair of Machines, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: pervushin54@mail.ru).

Salimzyanov Marat Zufarovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Operation and Repair of Machines, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: salimmar@mail.ru).

Kasimov Nikolai Gajsovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Operation and Repair of Machines, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Shirobokov Vladimir Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Operation and Repair of Machines, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Lebedev Ivan Yurievich – Engineer, ООО «KriptoSvyaz» (21, Borodina St., Izhevsk, 426011, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: fos1973@yandex.ru).

УДК 631.22:628.9

DOI 10.48012/1817-5457_2021_1_62

Т. А. Широбокова

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Постепенно набирающий силу процесс реализации политики энергосбережения крайне необходим в сельском хозяйстве, так как это весьма сложный и своеобразный объект с точки зрения энергообеспечения. Поэтому возникает необходимость разработки максимально энергоэффективных светодиодных светильников с возможностью автономной работы. В настоящее время решен вопрос эффективного отвода тепла от светодиода, но в данной работе предлагается использовать его для преобразования в электрическую энергию за счет применения термоэлектрического эффекта. Предложена и разработана экспериментальная установка для определения зависимости величины выходного напряжения и тока термопары от величины разности температур холодного и горячего спаев. Апробация технологического процесса сборки термоэлектрического элемента выявила наиболее допустимую методику соединения проводников с помощью паяльной пасты. В экспериментальном образце точка спаев находится рядом со светодиодом, что позволяет создать максимальный градиент температур для термопары. Определено, что использование светодиодного осветительного прибора приведет к увеличению КПД осветительного прибора.

Ключевые слова: светодиодный светильник; термоэлектрический эффект; электрическая энергия; термопара.

Актуальность. Поиск новых источников электрической энергии, а также повышение энергоэффективности потребителей электрической энергии является современной и важной составляющей современной науки [1, 2, 4–9, 14, 15]. В настоящее время в мире отмечается возрастающий дефицит электроэнергии. Анализ затрат электроэнергии на предприятиях сельскохозяйственного назначения показывает, что более 40 % электроэнергии расходуется на освещение [11]. Поэтому предприятиям необходимо использовать такие научно-технические разработки, применение которых позволит сократить затраты на энергетические ресурсы, что приведет к снижению себестоимости продукции [3, 10, 16, 17]. Разработка светодиодных осветительных приборов с возможностью автономной работы, их исследование, является актуальной задачей.

Цели и задачи исследования – разработка экспериментальной установки светодиодного осветительного прибора с применением термоэлектрического эффекта.

Методика исследований. Рассмотрим один из возможных способов применения тер-

моэлектрического эффекта в светодиодном осветительном приборе [12].

Термоэлектрическая генерация, основанная на эффекте Зеебека, обеспечивает преобразование тепловой энергии в электрическую при соприкосновении двух проводников, выполненных из разнородных материалов, находящихся под воздействием градиента температур.

Техническим результатом при использовании предложенного устройства (рис. 1–3) является снижение количества электрической энергии, рассеиваемой светодиодом в виде тепла, а, следовательно, снижение потребления уровня электроэнергии светодиодных светильников за счет преобразования тепловой энергии, выделяемой в плате в электрическую, используемую для дополнительного питания светильника. Результат достигается за счет присоединения металла к ребру радиатора светильника, образующего с ним термопару, преобразующую тепло, выделяемое оптическим элементом, в электрическую энергию за счет возникновения термоэлектрического эффекта.

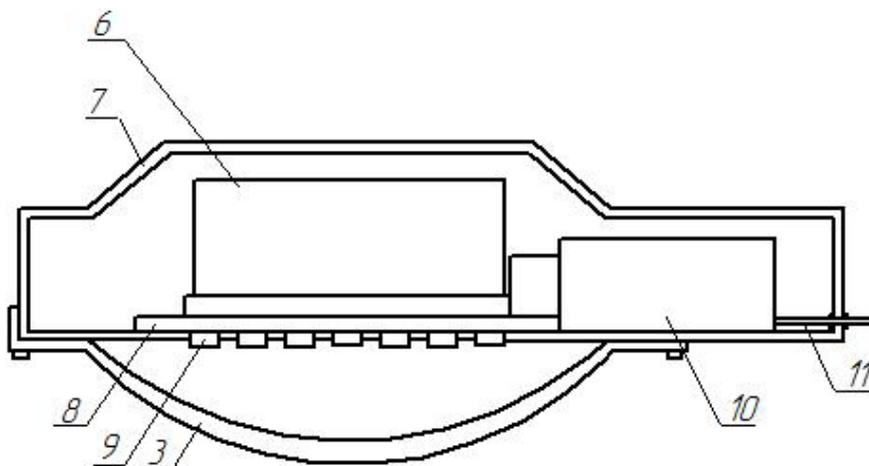


Рисунок 1 – Светодиодный осветительный прибор в продольном разрезе

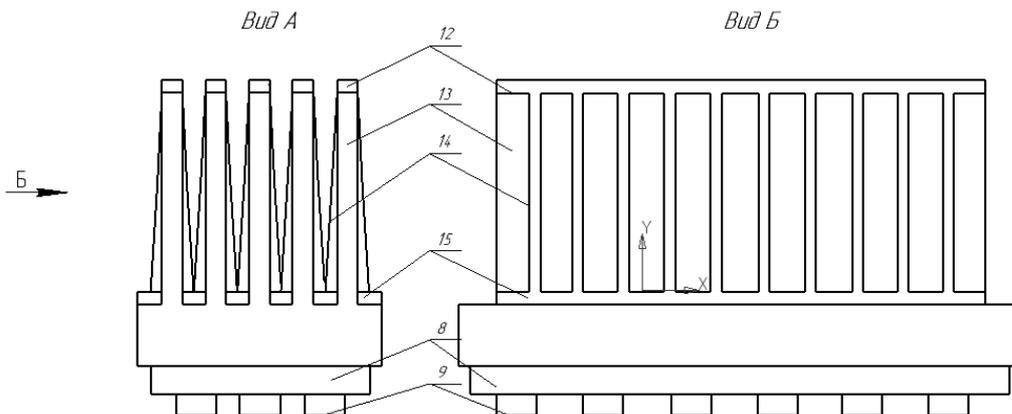


Рисунок 2 – Радиатор светильника

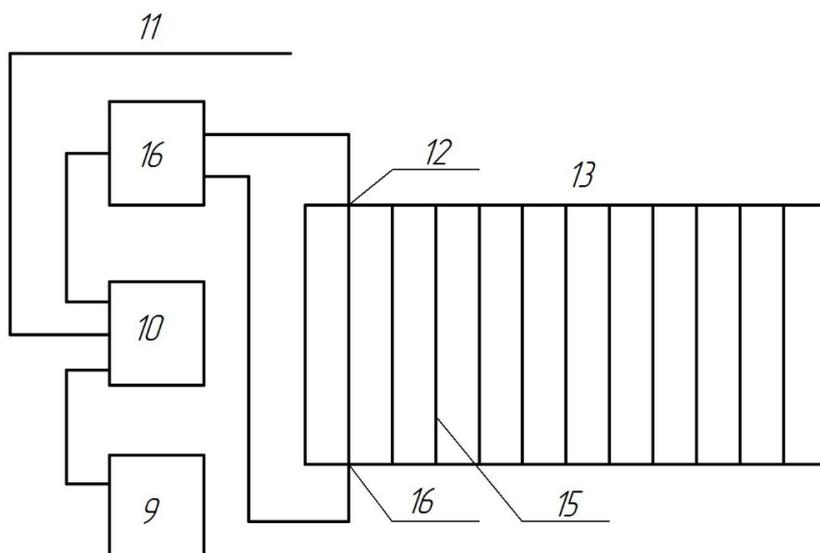


Рисунок 3 – Система питания светильника

Данный эффект достигается последовательным соединением термопар, образованных ребром радиатора металлом, нанесенным на радиатор. Устройство содержит светильник 1, состоящий из верхней крышки 2, состоящей из корпуса 7 и рассеивателя 3, закрепленный на горизонтальной части опоры 4, соединенной с вертикальной опорой 5. Светильник состоит из теплоотводящего радиатора 6, печатной платы 8 и светодиодов 9, подключенных к источнику питания 10, подключенного к сети переменного тока с помощью питающего проводника 11. Проволока 14, припаянная к ребру радиатора 13, образует с ним термопару с холодной точкой спаивания 12 и горячей точкой спаивания 15, может быть выполнена из константана. Точки горячего 15 и холодного 12 спаев соединены медными проводниками с аккумулятором, подключенным к системе питания светильника.

Устройство работает следующим образом. При подаче питающего напряжения с помощью проводника 11 на источник питания 10 от 25 до 40 % энергии преобразуется светодиодами 9 в оптическое излучение, которое распределяется рассеивателем 3. Около 50 % электрической энергии преобразуется в тепловую энергию, что приводит к постепенному нагреву платы 8 и радиатора 5. Радиатор 5 выполнен из алюминия и имеет ребристую форму. К ребру 13 радиатора 5 припаяна константановая проволока 14 диаметром 1 мм, точки спаивания 12 и 15 расположены на нижней и верхней части радиатора 9, образуя термопару с ребром 13 радиатора 5. Расположение термопар только с одной стороны радиатора образует их последовательное соединение в батарею, что увеличивает количество вы-

рабатываемого ЭДС. Образующаяся разница температур спаев 12 и 15 приводит к возникновению термоэдс за счет эффекта Пельтье, возникновению эффекта Томпсона, увеличению теплообмена в радиаторе и зарядке аккумулятора 16. Аккумулятор 16, получая энергию и передавая ее источнику питания 10, позволяет повысить КПД оптического элемента, преобразуя выделяющуюся теплоту в электрическую энергию.

Результаты исследования. Согласно предложенной конструкции [17], изготовлен опытный образец экспериментальной модели светодиодного светильника с использованием термоэлектрического эффекта. Термоэлектрический элемент должен стать частью радиатора по всей его ширине и находиться под влиянием градиента температур. Точка максимального нагрева светильника находится рядом со светодиодным модулем, а самая холодная точка располагается на вершине ребра радиатора.

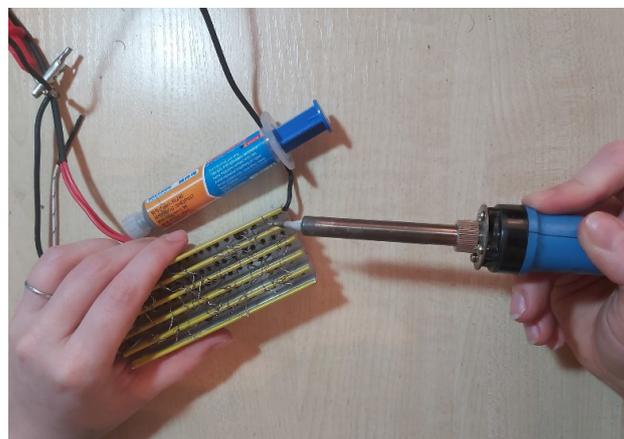


Рисунок 4 – Процесс пайки

Для выполнения экспериментального образца светильника был выбран способ соединения проводников с помощью паяльной пасты (рис. 4). Проводники соединялись последовательно с чередованием типа материала для образования термоэлектрической батареи. Чтобы создать максимальный градиент температур для термопары, необходимо, чтобы точка спаивания находилась непосредственно рядом с источником теплоты – светодиодом.

Для этого в радиаторе были выполнены отверстия небольшого диаметра, внутри которых разместились точки спаев термопары (рис. 5). Они должны быть изолированы от радиатора во избежание растекания токов. Фиксация была выполнена с помощью специального теплопроводящего клея, который также применяется для фиксации светодиода на плате и обладает хорошей теплопроводностью.

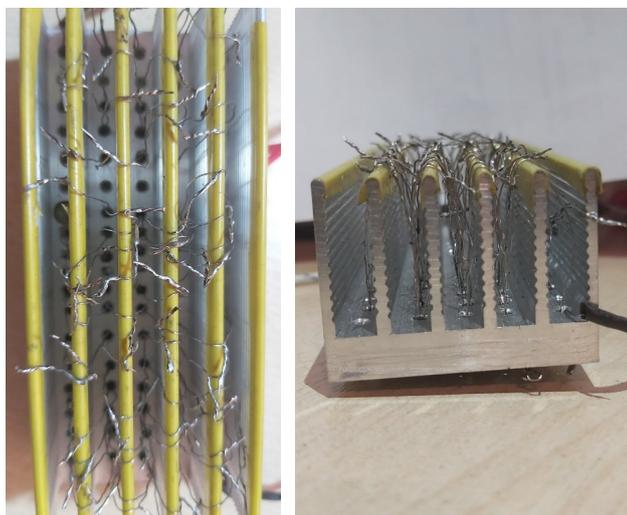


Рисунок 5 – Экспериментальная модель радиатора

Такая конструкция не препятствует процессу теплообмена в светильнике и не приводит к увеличению теплового сопротивления системы в целом. Для проведения комплексных испытаний разработана структурная схема экспериментальной установки.

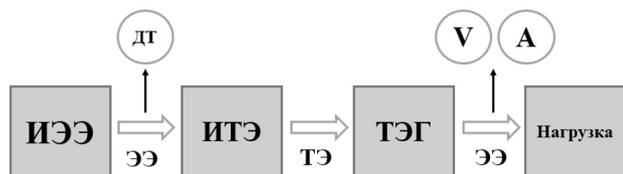


Рисунок 6 – Структурная схема экспериментальной установки:
 ИЭЭ – источник электрической энергии;
 ИТЭ – источник тепловой энергии,
 ТЭГ – термоэлектрический генератор,
 ЭЭ – электрическая энергия, ТЭ – тепловая энергия, ДТ – датчик температуры

Источником электрической энергии в данной системе является блок питания, преобразующий переменное напряжение питающей сети промышленной частоты в постоянное напряжение питания светодиода. Электрическая энергия поступает в светодиод, который преобразует ее в оптическое и тепловое излучения. Температуру светодиода контролирует датчик температуры (мультиметр с термопарой). Тепловая энергия, поступающая от светодиода, отводится радиатором с термоэлектрическим генератором, который преобразуется теплом в электрическую энергию постоянного напряжения и поступает на резистор. Величина выходного тока и напряжения контролируется с помощью мультиметра и вольтметра. Результаты эксперимента показали зависимость величины выходного напряжения и тока термопары от величины разности температур холодного и горячего спаев.

Вывод. Таким образом, можно сказать, что предложенная и разработанная конструкция светодиодного светильника с использованием термоэлектрического эффекта является перспективной установкой для предприятий АПК.

Апробация технологического процесса сборки термоэлектрического элемента выявила наиболее допустимую методику соединения проводников с помощью паяльной пасты. Произведена экспериментальная проверка теоретических положений, получены зависимости выходного тока и напряжения, получаемых при преобразовании тепла, выделяемого светодиодом посредством установленных на радиаторе термоэлектрических генераторов.

Список литературы

1. Абашев, Д. Т. Индукционный электронагрев в сельском хозяйстве / Д. Т. Абашев, П. Л. Лекомцев // Вестник Ижевской ГСХА. – 2011. – № 4 (29). – С. 57–58.
2. Возмилов, А. Г. Алгоритм расчета конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора / А. Г. Возмилов, Т. А. Ширококова, Д. В. Астафьев, И. Ю. Лошкарев // АПК России. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 185–188.
3. Возмилов, А. Г. Применение термоэлектрического эффекта в светодиодном светильнике / А. Г. Возмилов, Т. А. Ширококова, М. А. Набатчикова, Т. В. Цыркина // АПК России. – 2020. – Т. 27. – № 2. – С. 284–288.
4. Возмилов, А. Г. Результаты экспериментальных исследований осветительного прибора на основе светодиодов с улучшенными техническими характеристиками / А. Г. Возмилов, Т. А. Широко-

ва, Р. Ю. Илимбетов, Л. А. Шувалова // АПК России. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 189–192.

5. Кондратьева, Н. П. Возможность использования светодиодных rgb-технологий в тепличных комплексах / Н. П. Кондратьева, Р. А. Валева // Аграрная наука – инновационному развитию АПК в современных условиях: м-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – С. 44–46.

6. Кондратьева, Н. П. Повышение эффективности светодиодных фитоустановок (led-фитоустановок) в защищенном грунте / Н. П. Кондратьева, А. П. Коломиец, Р. Г. Болшин, М. Г. Краснолуцкая // Вестник Ижевской ГСХА. – 2016. – № 4 (49). – С. 59–69.

7. Кондратьева, Н. П. Энергоресурсосберегающие электротехнологии и электрооборудование на предприятиях агропромышленного комплекса / Н. П. Кондратьева [и др.] // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: м-лы регионального науч.-практ. семинара. – 2016. – С. 304–312.

8. Лекомцев, П. Л. Система независимого энергоснабжения предприятий АПК / П. Л. Лекомцев, В. С. Вохмин, И. Р. Вахитов // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий. – Уфа, 2016. – С. 63–66.

9. Петрова, Н. Г. Энтропия бизнеса / Н. Г. Петрова, Р. Г. Кораблев, А. К. Осипов, П. Л. Лекомцев, Г. А. Кораблев // Вестник Ижевской ГСХА. – 2013. – № 1 (34). – С. 76–79.

10. Светодиодный осветительный прибор / С. И. Юран, Т. А. Ширококова, И. И. Иксанов // Патент на полезную модель RU 157781 U1, 10.12.2015. Заявка № 2015112778/07 от 07.04.2015.

11. Тимофеев, Е. В. Повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве / Е. В. Тимофеев, А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, В. А. Размук // Молодой ученый. – 2017. – № 4. – С. 213–217.

12. Чепкасова, М. А. Светодиодный осветительный прибор с использованием терморпары / М. А. Чепкасова, Т. А. Ширококова, И. Г. Поспелова // Патент на полезную модель RU 191976 U1, 29.08.2019. Заявка № 2019106261 от 05.03.2019.

13. Ширококова, Т. А. Разработка энерго- и ресурсосберегающих осветительных установок для АПК / Т. А. Ширококова, И. Г. Поспелова, М. А. Набатчикова, И. И. Иксанов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67. – № 3 (40). – С. 95–102.

14. Vladykin, I. Mathematical model of temperature mode for protected ground / I. Vladykin, N. Kondrat'eva, O. Riabova // International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2017. – Т. 11. – P. 124–129.

15. Vladykin, I. The thermo vision inspection of protective structures of greenhouses / I. Vladykin, V. Loginov, O. Kochurova // Science, Technology and Higher Educa-

tion. Materials of the V International Research and Practice Conference. – Publishing office Accent Graphics communications, Strategic Studies Institute, 2014. – P. 30–34

16. Vozmilov, A. G. Algorithm and software for calculating the design parameters of led lighting device / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, D. V. Astafev // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. – Sochi, 2020. – P. 9111934.

17. Loshkarev, I. Y. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova // Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042018.

Spisok literatury

1. Abashev, D. T. Indukcionnyj elektronagrev v sel'skom hozyajstve / D. T. Abashev, P. L. Lekomcev // Vestnik Izhevskoj GSKHA. – 2011. – № 4 (29). – С. 57–58.

2. Vozmilov, A. G. Algoritm rascheta konstruktivnyh parametrov svetodiodnogo osvetitel'nogo pribora / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, D. V. Astaf'ev, I. YU. Loshkarev // APK Rossii. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 185–188.

3. Vozmilov, A. G. Primenenie termoelekticheskogo effekta v svetodiodnom svetil'nike / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, M. A. Nabatchikova, T. V. Cyrkina // APK Rossii. – 2020. – Т. 27. – № 2. – С. 284–288.

4. Vozmilov, A. G. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovaniy osvetitel'nogo pribora na osnove svetodiodov s uluchshennymi tekhnicheskimi harakteristikami / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, R. YU. Ilimbetov, L. A. Shuvalova // APK Rossii. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 189–192.

5. Kondrat'eva, N. P. Vozmozhnost' ispol'zovaniya svetodiodnyh rgb-tekhnologij v teplichnyh kompleksah / N. P. Kondrat'eva, R. A. Valeev // Agrarnaya nauka – innovacionnomu razvitiyu APK v sovremennyh usloviyah: m-ly Vseros. nauch.-prakt. конф. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2013. – С. 44–46.

6. Kondrat'eva, N. P. Povyshenie effektivnosti svetodiodnyh fitoustanovok (led-fitoustanovok) v zashchishchennom grunte / N. P. Kondrat'eva, A. P. Kolomiec, R. G. Bol'shin, M. G. Krasnoluckaya // Vestnik Izhevskoj GSKHA. – 2016. – № 4 (49). – С. 59–69.

7. Kondrat'eva, N. P. Energoresursosberegayushchie elektrotekhnologii i elektrooborudovanie na predpriyatiyah agropromyshlennogo kompleksa / N. P. Kondrat'eva [i dr.] // Energoresursosberezhenie v promyshlennosti, zhilishchno-kommunal'nom hozyajstve i agropromyshlennom komplekse: m-ly regional'nogo nauch.-prakt. seminar. – 2016. – С. 304–312.

8. Lekomcev, P. L. Sistema nezavisimogo energosnabzheniya predpriyatij APK / P. L. Lekomcev, V. S. Vohmin, I. R. Vahitov // Aktual'nye problemy energoobespecheniya predpriyatij. – Ufa, 2016. – С. 63–66.

9. Petrova, N. G. Entropiya biznesa / N. G. Petrova, R. G. Korablev, A. K. Osipov, P. L. Lekomcev, G. A. Ko-

rablev // Vestnik Izhevskoj GSKHA. – 2013. – № 1 (34). – S. 76–79.

10. Svetodiodnyj osvetitel'nyj pribor / S. I. YUran, T. A. SHirobokova, I. I. Iksanov // Patent na poleznuyu model' RU 157781 U1, 10.12.2015. Zayavka № 2015112778/07 ot 07.04.2015.

11. Timofeev, E. V. Povyshenie energoeffektivnosti v sel'skom hozyajstve / E. V. Timofeev, A. F. Erk, V. N. Sudachenko, V. A. Razmuk // Molodoy uchenyj. – 2017. – № 4. – S. 213–217.

12. СНepkasova, M. A. Svetodiodnyj osvetitel'nyj pribor s ispol'zovaniem termopary / M. A. СНepkasova, T. A. SHirobokova, I. G. Pospelova // Patent na poleznuyu model' RU 191976 U1, 29.08.2019. Zayavka № 2019106261 ot 05.03.2019.

13. SHirobokova, T. A. Razrabotka energo- i resursoberegayushchih osvetitel'nyh ustanovok dlya APK / T. A. SHirobokova, I. G. Pospelova, M. A. Nabatchikova, I. I. Iksanov // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2020. – T. 67. – № 3 (40). – S. 95–102.

14. Vladykin, I. Mathematical model of temperature mode for protected ground / I. Vladykin, N. Kondrateva, O. Riabova // International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2017. – T. 11. – P. 124–129.

15. Vladykin, I. The thermo vision inspection of protective structures of greenhouses / I. Vladykin, V. Loginov, O. Kochurova // Science, Technology and Higher Education. Materials of the V International Research and Practice Conference. – Publishing office Accent Graphics communications, Strategic Studies Institute, 2014. – P. 30–34

16. Vozmilov, A. G. Algorithm and software for calculating the design parameters of led lighting device / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, D. V. Astafev // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. – Sochi, 2020. – P. 9111934.

17. Loshkarev, I. Y. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova // Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042018.

Сведения об авторе:

Широбокова Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники, электрооборудования и электроснабжения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: 9048336842@mail.ru).

T. A. Shirobokova
Izhevsk State Agricultural Academy

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL SETUP FOR A LED LAMP WITH THERMOELECTRIC EFFECT

The process of implementation of the energy saving policy, which is gradually gaining strength, is extremely necessary in agriculture, since this is a very complex and peculiar object in terms of energy supply. Currently, there is a growing shortage of electricity in the world. Therefore, it becomes necessary to develop the most energy efficient LED lamps with the possibility of autonomous operation. Today, the issue of efficient heat removal from the LED has been resolved, but in the present article suggests to use it for conversion into electrical energy through the use of the thermo-electric effect. An experimental assembly is proposed and has been developed to determine the dependence of the output voltage and current of a thermocouple on the temperature gap between cold and hot solder junctions. Approbation of the technological process of assembling a thermoelectric element revealed the most acceptable method for connecting conductors using solder paste. In the experimental sample, the junction point is next to the LED to create the maximum temperature gradient for the thermocouple. It has been determined that the use of an LED lighting device will lead to increase of its efficiency.

Key words: LED lamp; thermoelectric effect; electric energy; thermocouple.

Author:

Shirobokova Tatyana Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering, Electrical Equipment and Power Supply, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: 9048336842@mail.ru).

Т. А. Широбокова, Л. А. Шувалова

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Разработан алгоритм для расчета конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора. Метод расчета основных конструктивных параметров основан на одном из оптимизационных методов математического анализа, генетического алгоритма с вещественным кодированием. Генетический алгоритм – численный метод эвристического поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров, поиска глобального минимума функции, не ухудшения решения на каждой итерации. Для упрощения расчета и минимизации количества вычислений на основе разработанного алгоритма написана программа, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Разработанный алгоритм и программа расчета позволяют определить параметры светодиодного осветительного прибора, обеспечивающего нормируемую освещенность на горизонтальной рабочей поверхности при минимальных затратах электроэнергии, оценить распределение светового потока с учетом конфигурации и геометрии светодиодного осветительного прибора.

Ключевые слова: животноводство; светодиодное освещение; алгоритм расчета; конструктивные параметры; освещенность.

Актуальность. Экономическая ситуация, сложившаяся в настоящее время в России, способствует тому, что предприятия агропромышленного комплекса обязаны повысить качество производства продукции и снизить себестоимость выпускаемой продукции. В структуре потребления электроэнергии сельхозпредприятиями России на долю животноводства приходится 83 %, при этом 41 % электроэнергии расходуется на освещение [7, 15]. Экономическая эффективность отрасли во многом зависит от условий содержания животных, которые большей частью определяются параметрами микроклимата в помещении, одним из которых является освещение [6, 19–21]. При этом в большинстве случаев используются неэкономичные системы освещения. Поэтому предприятиям необходимо апробировать научно-технические разработки, применение которых позволит сократить затраты на топливно-энергетические ресурсы [3, 8, 10, 14, 18].

Целью исследования являлась разработка алгоритма расчета конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора.

Методика исследований. Освещение является одним из ключевых параметров микроклимата, обеспечивающих нормальный рост и развитие животных. При реализации способа искусственного освещения для содержания крупного рогатого скота, когда кормушки размещаются продольно вдоль кормового прохода равномерно, для освещения предлагается применение осветительного прибора с использованием большого количества светодиодов ма-

лой мощности [1, 2, 5]. Так как светильники в животноводческом помещении располагаются на одной высоте и на равном расстоянии, то распределение освещенности можно считать периодическим, за исключением границ помещения, поэтому оценку качества освещенности определяют по вкладам трех светодиодных осветительных приборов, расположенных линейно для участка помещения (рис. 1).

Качество освещения оценивается по максимальным значениям освещенности и неравномерностью освещения [16, 17, 18].

$$Z = \frac{E_{min}}{E_{cp}}, \quad (1)$$

где E_{min} – минимальное значение освещенности, лк;

E_{cp} – среднее значение освещенности, лк.

Для подбора оптимальных параметров требуется выбрать параметры светильника, обеспечивающие наименьшее отклонение максимальной освещенности и неравномерности освещения от их заданных значений. Варьируемыми параметрами для расчета являются: 1) расстояние d между светильниками; 2) высота подвеса светильника; 3) расстояние от края светильника до первых светодиодов линеек; 4) угол между наклонной частью светильника и его верхней поверхностью (угол скоса); 5) протяженность наклонной части светильника; 6) угол, задающий положение первой линейки на светильнике; 7) количество светодиодов на i -й линейке.

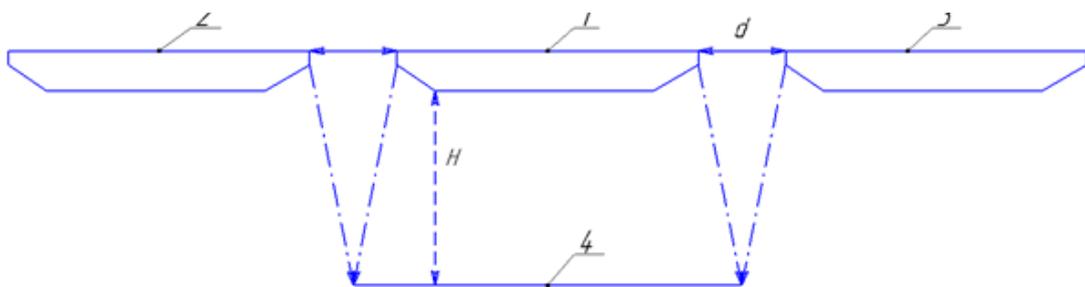


Рисунок 1 – Размещение светодиодных светильников в помещении:
 1, 2, 3 – осветительные приборы, расположенные линейно вдоль кормового прохода;
 4 – кормовой проход; d – расстояние между осветительными приборами, м;
 H – высота подвеса светильника, м

Для подбора значений параметров разработана функция минимизации:

$$F = \left(\frac{E_{\max} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \right)^2 + \left(\frac{z_{\max} - z_{\text{норм}}}{z_{\text{норм}}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где E_{\max} – значение максимальной освещенности, лк;

$E_{\text{норм}}$ – нормируемая освещенность, лк;

z_{\max} – максимальная неравномерность освещения;

$z_{\text{норм}}$ – нормируемая неравномерность освещения.

Результаты исследования. Для упрощения расчетов и подбора минимальных параметров осветительного прибора разработана компьютерная программа в программной среде на графическом языке программирования стандарта C++ [4, 13]. Программа основана на методике математического аппарата – гене-

тического алгоритма с вещественным кодированием, предназначенным для решения задач оптимизации, а именно возможности нахождения глобального минимума в области поиска, не ухудшает решения на каждой итерации, прост при постановке коридорных ограничений [17].

Программа позволяет выполнять следующие функции:

- 1) вводить в компьютер заданные параметры уровня освещенности в животноводческих помещениях согласно зоотехническим нормам (рис. 2);
- 2) конструировать светильник, оптимизировать параметры светильника по числу светодиодов (рис. 3);
- 3) наблюдать на экране монитора распределение светового потока, изменение освещенности в животноводческих помещениях в зависимости от заданных параметров (рис. 4).

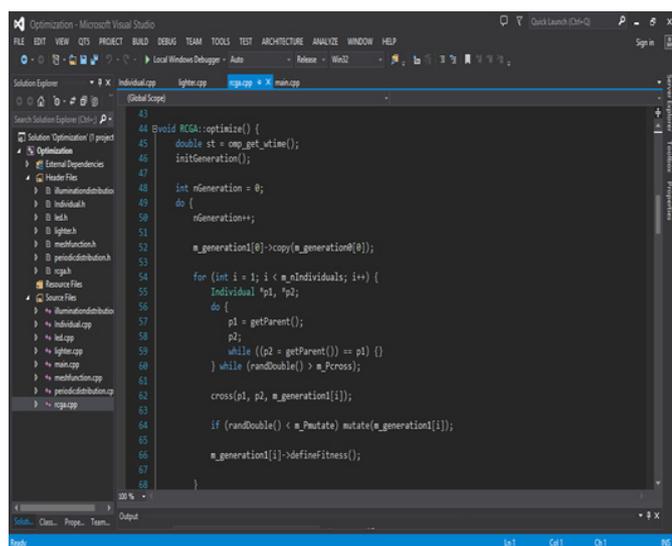


Рисунок 2 – Ввод данных по заданному уровню освещенности для расчета осветительного прибора

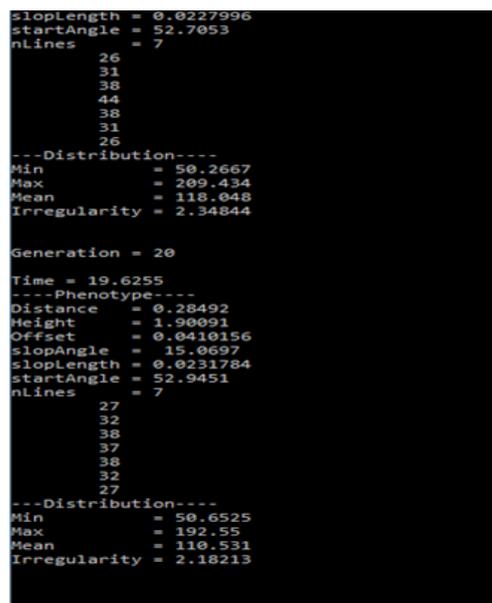


Рисунок 3 – Ввод данных для расчета основных параметров осветительного прибора

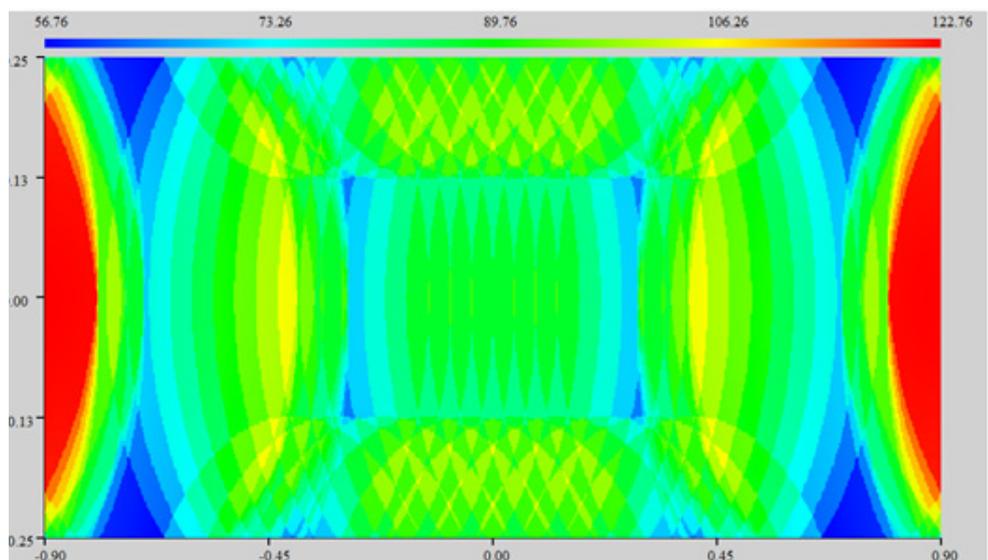


Рисунок 4 – Распределение светового потока в программном комплексе

Данный метод оптимизации связан с большой группой адаптивного поиска и многопараметрической оптимизации, обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими методами минимизации: возможностью нахождения глобального минимума в области поиска; не ухудшает решение на каждой итерации; прост при постановке коридорных ограничений.

К недостаткам работы программы можно отнести: 1 – элемент случайности в поиске наилучшего решения; 2 – более высокие требования к аппаратным ресурсам по сравнению с классическими методами.

В расчете выбираются параметры осветительного прибора, обеспечивающие наименьшее отклонение величин максимального значения освещенности и неравномерности освещения от их заданных нормированных значений освещенности и неравномерности освещения с учетом максимально допустимого расстояния между осветительными приборами, расположенными линейно, и варьируемых параметров светильника (расстояния между светильниками, расстояния от края светильника до первых линеек светодиодов, углом между наклонной частью светильника и его верхней поверхностью, протяженностью наклонной части светильника, углом, задающим положение первой линейки на светильнике, количество светодиодов на линейке).

Алгоритм перебирает не все решения, а только лучшие, берёт группу решений и ищет среди них наиболее подходящие. Затем немного изменяет их – получает новые решения, среди которых снова отбирает лучшие, а худшие отбрасывает. Таким образом, на каждом шаге работы

алгоритм отбирает наиболее подходящие лучшие решения, считая, что они на следующем шаге дадут ещё более лучшие решения.

Выводы:

1. Полученная целевая функция распределения освещённости описывает взаимосвязь между освещенностью и неравномерностью освещения, позволит оптимизировать конструктивные параметры светодиодного осветительного прибора.

2. Разработана программная реализация расчета конфигурации светодиодного осветительного прибора, позволяющая оценить его конструктивные параметры. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Список литературы

1. Айзенберг, Ю. Б. Основы конструирования световых приборов: учебное пособ. для вузов / Ю. Б. Айзенберг. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
2. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
3. Возмилов, А. Г. Результаты экспериментальных исследований осветительного прибора на основе светодиодов с улучшенными техническими характеристиками / А. Г. Возмилов, Т. А. Широкова, Р. Ю. Илимбетов, Л. А. Шувалова // АПК России. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 189–192.
4. Кениг Эндрю Эффективное программирование на C++. Том 2 / Кениг Эндрю, Му Барбара Э. – Вильямс, 2002. – 368 с.
5. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отделение, 1981. – 228 с.
6. Кондратьева, Н. П. Энергоресурсосберегающие электротехнологии и электрооборудование

на предприятиях агропромышленного комплекса / Н. П. Кондратьева, С. И. Юран, И. Р. Владыкин, И. А. Баранова, Е. А. Козырева, В. А. Баженов // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: материалы регионального научно-практического семинара. – Ижевск, 2016. – С. 304–312.

7. Тимофеев, Е. В. Повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве / Е. В. Тимофеев, А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, В. А. Размук // Молодой ученый. – 2017. – № 4. – С. 213–217.

8. Трошин, Е. И. Влияние светодиодов на продуктивность дойных коров / Е. И. Трошин, Л. А. Шувалова, Т. А. Широбокова, Ю. Г. Васильев // Ветеринария. – 2020. – № 2. – С. 54–56.э

9. Чепкасова, М. А. Светодиодный осветительный прибор с использованием термодары / М. А. Чепкасова, Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова // Патент России № 191976.2019. Бюл. № 25.

10. Широбокова, Т. А. Методика оценки параметров светодиодного освещения в животноводческих помещениях / Т. А. Широбокова, И. Ю. Лошкарёв, Н. Н. Белова // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 43. – С. 47–50.

11. Широбокова, Т. А. Методика расчёта геометрических параметров светодиодного светильника / Т. А. Широбокова, Л. А. Шувалова, И. И. Иксанов, Т. В. Цыркина, С. Я. Пономарева // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4235 (дата обращения: 15.03.21).

12. Широбокова, Т. А. Определение параметров светодиодного светильника для освещения животноводческих помещений / Т. А. Широбокова, А. П. Ильин, И. И. Иксанов, Л. А. Шувалова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 3-1. – С. 25–27.

13. Широбокова, Т. А. Программа расчёта оптимального числа светодиодов в системе освещения животноводческого помещения / Т. А. Широбокова, Е. В. Ветчанин, И. И. Иксанов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617039. – 2017.

14. Широбокова, Т. А. Энергетический анализ производства продукции животноводства / Т. А. Широбокова, Л. А. Шувалова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (61). – С. 72–78.

15. Эрк, А. Ф. Структура энергопотребления сельскохозяйственных предприятий / А. Ф. Эрк, В. Н. Судаченко, О. В. Бычкова // Межд. агропромышленная выставка-ярмарка «Агрорусь». – СПб., 2014. – С. 220–221.

16. Юран, С. И. Светодиодный осветительный прибор / С. И. Юран, Т. А. Широбокова, И. И. Иксанов // Патент России № 157781. 2015. Бюл. № 34.

17. Якимович, Б. А. Генетические алгоритмы в моделировании систем: монография / Б. А. Якимович, В. А. Тенев. – Ижевск: ИЖГТУ, 2010. – 308 с.

18. Vozmilov, A. G. Algorithm and software for calculating the design parameters of led lighting device / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, D. V. Astafev // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. – 2020. – P. 9111934.

19. Loshkarev, I. Y. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042018.

20. Loshkarev, I. Y. Implementation of the energy-saving lighting mode in the poultry-farming house due to the automated control system / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, I. A. Baranova, S. D. Batanov // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042019.

21. Loshkarev, I. Y. Methods for assessing the parameters of led-based lighting in livestock houses / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 062013.

Spisok literatury

1. Ajzenberg, YU. B. Osnovy konstruirovaniya svetovyyh priborov: uchebnoe posob. dlya vuzov / YU. B. Ajzenberg. – М.: Energoatomizdat, 1996. – 704 s.

2. Ajzenberg, YU. B. Spravochnaya kniga po svetotekhnike / YU. B. Ajzenberg. – 3-e izd., pererab. i dop. – М.: Znack, 2006. – 972 s.

3. Vozmilov, A. G. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij osvetitel'nogo pribora na osnove svetodiodov s uluchshennymi tekhnicheskimi harakteristikami / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, R. YU. Ilimbetov, L. A. Shuvalova // APK Rossii. – 2019. – Т. 26. – № 2. – S. 189–192.

4. Kenig Endryu Effektivnoe programmirovaniye na S++. Tom 2 / Kenig Endryu, Mu Barbara E. – Vil'yams, 2002. – 368 s.

5. Knorring, G. M. Osvetitel'nye ustanovki / G. M. Knorring. – L.: Energoizdat, Leningr. otdelenie, 1981. – 228 s.

6. Kondrat'eva, N. P. Energoresursoberegayushchie elektrotekhnologii i elektrooborudovanie na predpriyatiyah agropromyshlennogo kompleksa / N. P. Kondrat'eva, S. I. YUran, I. R. Vladykin, I. A. Baranova, E. A. Kozyreva, V. A. Bazhenov // Energoresursoberezhenie v promyshlennosti, zhilishchno-kommunal'nom hozyajstve i agropromyshlennom komplekse: materialy regional'nogo nauchno-prakticheskogo seminar. – Izhevsk, 2016. – S. 304–312.

7. Timofeev, E. V. Povyschenie energoeffektivnosti v sel'skom hozyajstve / E. V. Timofeev, A. F. Erk, V. N. Sudachenko, V. A. Razmuk // Molodoj uchenyj. – 2017. – № 4. – S. 213–217.

8. Troshin, E. I. Vliyanie svetodiodov na produktivnost' dojnyh korov / E. I. Troshin, L. A. SHuvalova, T. A. SHirobokova, YU. G. Vasil'ev // Veterinariya. – 2020. – № 2. – S. 54–56.e
9. СHepkasova, M. A. Svetodiodnyj osvetitel'nyj pribor s ispol'zovaniem termopary / M. A. СHepkasova, T. A. SHirobokova, I. G. Pospelova // Patent Rossii № 191976.2019. Byul. № 25.
10. SHirobokova, T. A. Metodika ocenki parametrov svetodiodnogo osveshcheniya v zhivotnovodcheskih pomeshcheniyah / T. A. SHirobokova, I. YU. Loshkarev, N. N. Belova // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2018. – № 43. – S. 47–50.
11. SHirobokova, T. A. Metodika rascheta geometricheskikh parametrov svetodiodnogo svetil'nika / T. A. SHirobokova, L. A. SHuvalova, I. I. Iksanov, T. V. Cyrkina, S. YA. Ponomareva // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2017. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4235 (data obrashcheniya: 15.03.21).
12. SHirobokova, T. A. Opredelenie parametrov svetodiodnogo svetil'nika dlya osveshcheniya zhivotnovodcheskih pomeshchenij / T. A. SHirobokova, A. P. Il'in, I. I. Iksanov, L. A. SHuvalova // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy. – 2016. – № 3-1. – S. 25–27.
13. SHirobokova, T. A. Programma raschyota optimal'nogo chisla svetodiodov v sisteme osveshcheniya zhivotnovodcheskogo pomeshcheniya / T. A. SHirobokova, E. V. Vetchanin, I. I. Iksanov // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2017617039. – 2017.
14. SHirobokova, T. A. Energeticheskij analiz proizvodstva produkcii zhivotnovodstva / T. A. SHirobokova, L. A. SHuvalova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 1 (61). – S. 72–78.
15. Erk, A. F. Struktura energopotrebleniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatij / A. F. Erk, V. N. Sudachenko, O. V. Bychkova // Mezhd. agropromyshlennaya vystavka-yarmarka «Agrorus». – SPb., 2014. – S. 220–221.
16. YUran, S. I. Svetodiodnyj osvetitel'nyj pribor / S. I. YUran, T. A. SHirobokova, I. I. Iksanov // Patent Rossii № 157781. 2015. Byul. № 34.
17. YAKimovich, B. A. Geneticheskie algoritmy v modelirovanii sistem: monografiya / B. A. YAKimovich, V. A. Tenenev. – Izhevsk: IzhGTU, 2010. – 308 s.
18. Vozmilov, A. G. Algorithm and software for calculating the design parameters of led lighting device / A. G. Vozmilov, T. A. Shirobokova, D. V. Astafev // Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. – 2020. – P. 9111934.
19. Loshkarev, I. Y. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042018.
20. Loshkarev, I. Y. Implementation of the energy-saving lighting mode in the poultry-farming house due to the automated control system / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, I. A. Baranova, S. D. Batanov // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 042019.
21. Loshkarev, I. Y. Methods for assessing the parameters of led-based lighting in livestock houses / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – P. 062013.

Сведения об авторах:

Широбокова Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники, электрооборудования и электроснабжения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: 9048336842@mail.ru).

Шувалова Людмила Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры анатомии и физиологии, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: fvm@izhgsha.ru).

T. A. Shirobokova, L. A. Shuvalova
Izhevsk State Agricultural Academy

CALCULATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF THE LED LIGHTING DEVICE

The present article is devoted to a calculating algorithm of the design parameters of an LED lighting device. The method of calculating the main design parameters is based on one of the optimization methods of mathematical analysis, a genetic algorithm with the objectivised coding. The genetic algorithm is a numerical heuristic p-search method used to solve optimization and simulation challenges by sequentially selecting, combining and varying the desired parameters, also finding the global minimum of the function, and not degrading the solution at each iteration. To simplify the calculation and minimize the number of calculations, a programme had been worked

out based on the developed algorithm, and a certificate of state registration of the programme was obtained. The developed algorithm and calculating programme make it possible to determine the parameters of an LED lighting device that provides normalized illumination on a horizontal working surface with minimal energy consumption, and to estimate the distribution of the luminous flux with the account of the configuration and geometry of the LED lighting device.

Key words: animal husbandry; LED lighting; calculating algorithm; design parameters; illumination.

Authors:

Shirobokova Tatyana Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering, Electrical Equipment and Power Supply, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: 9048336842@mail.ru).

Shuvalova Lyudmila Anatol'evna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy and Physiology, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya St., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: fvm@izhgsha.ru).

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПУБЛИКАЦИИ АВТОРСКИХ МАТЕРИАЛОВ

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. Автор предоставляет редакции журнала «Вестник Ижевской ГСХА» неисключительные права на статью для ее опубликования. Шаблон лицензионного договора размещен на странице журнала в сети Интернет (<http://izhgsha.ru>).

3. Рукопись статьи представляется непосредственно в редакцию журнала или присылается по почте (в т. ч. электронной) в виде компьютерной распечатки с приложением носителя (диск CD-R или CD-RW, 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 полуторный; режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Формат бумаги А4 (210×297 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 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.

AUTHORS' INSTRUCTIONS FOR ARTICLES SUBMISSION AND PUBLICATION

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. The author gives non-exclusive rights for the article publication to the editorship of "Vestnik of Izhevsk SAA". A license agreement template is published on the journal website (<http://izhgsha.ru>).

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 (210×297). 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.