



ВЕСТНИК

**Ижевской государственной
сельскохозяйственной академии**

Научно-практический журнал • № 4 (49) 2016

THE BULLETIN

of Izhevsk State Agricultural Academy

Theoretical and practical journal • № 4 (49) 2016

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

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

Научный редактор

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

Члены редакционного совета:

А.И. Костяев – доктор экономических наук, доктор географических наук, профессор

ФГБНУ Северо-Западный НИИ экономики и организации сельского хозяйства, академик РАН

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

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

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

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

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

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

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

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

Г.Н. Бурдов – доктор ветеринарных наук, начальник Главного управления ветеринарии

Удмуртской Республики, Главный государственный ветеринарный инспектор Удмуртской

Республики

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

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

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

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

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

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

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

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

В.Ф. Пervushin – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

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

EDITORIAL BOARD

Editor in chief

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

Science editor

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

Members of Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

G.N. Burdov – Doctor of Veterinary Sciences, Head of Veterinary Department of the Udmurt Republic, Chief State Veterinary Inspector of the Udmurt Republic

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

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

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

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

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

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

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

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

V.F. Pervushin – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

А.И. Кадырова, В.Г. Колесникова. Применение микроудобрений в наноформе в технологии возделывания овса	3
А.А. Никитин. Кормовая продуктивность и аминокислотный состав сухого вещества одновидовых и смешанных посевов суданской травы	13
И.Ш. Фатыхов, Н.А. Бусоргина, В.Ф. Первущин, Ф.Р. Арсланов, Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин. Содержание химических элементов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы при внесении извести, навоза и минеральных удобрений	19
Г.В. Ломаев, М.С. Емельянова. Изменения в онтогенезе биосистем в условиях гипогеомагнитного поля на примерах <i>G.Gallus</i> , <i>Apis Mellifera</i> С., <i>Cucurbita</i> М.	25
Е.В. Максимова, Д.И. Сафронов. Оценка эффективности иммунизации свиней моновалентной вакциной против репродуктивно-респираторного синдрома свиней и в сочетании с адаптогеном и иммуномодулятором	32

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

И.В. Бадретдинова, Н.Ю. Касаткина. Обоснование эффективности ультразвукового диспергирования пектинового комплекса стебля льна-долгунца	39
А.Г. Бастрогов, П.В. Дородов, О.С. Федоров, В.И. Ширококов. Обоснование пропускной способности циклона-сепаратора для дробилок зерна	44
А.Г. Иванов, Н.В. Крылов, П.Л. Максимов, О.С. Федоров, Ф.Р. Арсланов, Р.Р. Шакиров, А.П. Ильин. Обоснование параметров и режимов работы картофелесортирующего устройства транспортерного типа	51
Н.П. Кондратьева, А.П. Коломиец, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая. Повышение эффективности светодиодных фитоустановок (LED-фитоустановок) в защищенном грунте	59
И.П. Попов, В.Г. Чумаков, В.И. Чарыков, С.Ю. Кубарева, Д.П. Попов. Определение влияния зернового вороха на динамику решетчатого стана	69

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

A.I. Kadyrova, V.G. Kolesnikova. Appliance of micronutrients in nanoform in oats cultivation technology	3
A.A. Nikitin. Feed capacity and amino acid composition of dry substance of pure and mixed sowing of Sudan grass	13
I.Sh. Fatykhov, N.A. Busorgina, V.F. Pervushin, F.R. Arslanov, G.P. Dzyuin, A.G. Dzyuin. Content of chemical elements in the arable layer of sod mesopodzol medium loamy soil with the application of lime, manure and mineral fertilizers	19
G.V. Lomaev, M.S. Emel'yanova. Changes in ontogenesis of biological systems under the conditions of reduced geomagnetic field by examples of <i>G.Gallus</i> , <i>Apis Mellifera</i> C., <i>Cucurbita</i> M.	25
E.V. Maksimova, D.I. Safronov. Efficacy evaluation of immunization with monovalent vaccine against Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome in combination with adaptogen and immunomodulator	32

TECHNICAL SCIENCES

I.V. Badretdinova, N.Yu. Kasatkina. Efficiency justification of ultrasonic material dispersion of pectic complex of the flax stem	39
A.G. Bastrigov, P.V. Dorodov, O.S. Fedorov, V.I. Shirobokov. Justification of the cyclone separator capacity for grain crushers	44
A.G. Ivanov, N.V. Krylov, P.L. Maksimov, O.S. Fedorov, F.R. Arslanov, R.R. Shakirov, A.P. Ilyin. Justification of parameters and operating modes of potato sorter of conveyor type	51
N.P. Kondratieva, A.P. Kolomiets, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutskaia. Efficiency improvement of light emitting diode phytostallations in green houses	59
I.P. Popov, V.G. Chumakov, V.I. Charykov, S.J. Kubareva, D.P. Popov. Determination of the grain heap influence on sieve pan dynamics	69

УДК 633.13 : 631.81.095.337

А.И. Кадырова, В.Г. Колесникова

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОУДОБРЕНИЙ В НАНОФОРМЕ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОВСА

Изучена реакция сортов овса Улов и Гунтер на предпосевную обработку семян микроудобрениями в разной форме. Цель исследований – определить сравнительную эффективность предпосевной обработки семян разными формами микроудобрений при возделывании на зерно сортов овса Улов и Гунтер на дерново-подзолистой почве. Предпосевная обработка семян овса Улов микроудобрениями обеспечивает возрастание урожайности зерна на 12–25%, у сорта Гунтер – на 12–19%. Средняя урожайность сортов овса в вариантах с нанометаллами меди и цинка была на том же уровне, что и в вариантах с сульфатами кобальта и меди. Прибавка урожайности сформировалась за счет увеличения густоты стояния продуктивных стеблей к уборке и озерненности метелки. Микроудобрения способствовали повышению содержания белка в зерне овса Улов на 0,5–1,9%, сорта Гунтер – на 0,6–2,1%. В среднем по сортам наибольшее содержание белка в зерне 12,1–12,4% наблюдали при предпосевной обработке семян растворами нанометаллов. Предпосевная обработка сортов овса разными формами удобрений повышала в среднем на 0,2–0,7% содержание жира в урожае зерна. В варианте с применением ЖУСС в зерне овса Улов содержание метионина была выше на 0,12%, валина – на 0,08% и треонина – на 0,25% относительно аналогичных значений в контрольном варианте. В зерне сорта Гунтер микроудобрение повысило содержание метионина на 0,06%, валина – на 0,32%, треонина – на 0,1%.

Ключевые слова: овес посевной; сорт; урожайность зерна; предпосевная обработка семян; микроудобрения; нанометаллы; ЖУСС; белок; жир; аминокислоты.

Актуальность. Изучение эффективности предпосевной обработки семян зерновых культур различными препаратами было задачей многих исследователей [3, 6, 9, 15, 19, 24, 25].

На основании исследований, проведенных в Среднем Предуралье, выявлена положительная реакция овса, ячменя, озимых ржи, пшеницы и тритикале на обработку семян перед посевом экстрактами из проростков зерновок хлебных злаков [21–23].

Реакция овса Улов на применение экстракта из зерновок хлебных злаков, препарата «Симбионт 1», инкрустации, экстракта из озимой ржи с последующей инкрустацией в предпосевной обработке семян выразилась формированием прибавки урожайности зерна 1,3–2,7 ц/га по сравнению с урожайностью в контрольном варианте без обработки [22]. В исследованиях С.И. Коконова [8] предпосевная обработка семян ячменя Биос 1 экстрактами из зерновок озимой ржи или ячменя, инкрустация или ЖУСС обеспечила повышение урожайности зерна на 0,08–0,30 т/га (3–11%) относительно урожайности в варианте без обработки семян за счет существенного возрастания густоты продуктивного стеблестоя. И.Ш. Фатыхов [23] установил, что экологически чистый прием предпосевной обработки семян ячменя с использованием экстракта из проростка зерновок хлебных злаков (озимой

ржи, ячменя, овса) не уступает по своей эффективности инкрустации.

В Среднем Предуралье проведены обширные исследования по изучению реакции полевых культур на микроэлементы [2, 4, 10, 12, 26, 28]. Установлена положительная реакция зерновых культур на предпосевную обработку семян и растений микроудобрениями [1, 3, 16, 17, 24].

Удмуртская Республика относится к биохимической провинции, которая характеризуется пониженным содержанием в почвах бора, цинка, кобальта, меди и молибдена [14], недостаток данных элементов имеет негативное влияние на урожайность и качество продукции растениеводства [27]. Поэтому задачей практического земледелия в Среднем Предуралье является разработка приемов увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, а также сбалансированности получаемой продукции по качественным показателям, в том числе и содержанию микроэлементов [11]. Трехлетние исследования Н.И. Мазуниной [17] по изучению реакции ячменя Раушан на предпосевную обработку семян микроэлементами, содержащими кобальт и цинк, позволили установить, что прибавка урожайности 0,52–0,63 т/га зерна обусловлена увеличением густоты продуктивных стеблей и продуктивности колоса.

В Среднем Предуралье на основании экспериментальных исследований Э.Ф. Вафина [1]

установила, что предпосевная обработка семян овса Аргмак микроудобрениями обеспечила повышение урожайности зерна на 11–17% относительно варианта без обработки за счет существенного возрастания густоты продуктивного стеблестоя на 14–20%, продуктивности метелки – на 5–6%, ее озерненности – на 2–5%. Т.Н. Рябова [20] также выявила положительную реакцию применения смеси микроудобрений (В, Cu, Zn) в предпосевной обработке семян формированием прибавки урожайности 0,09 т/га овса Конкур по сравнению с урожайностью зерна в варианте без обработки.

Таким образом, в научной литературе приведены данные исследований по изучению реакции зерновых культур на микроудобрения. Предпосевная обработка семян микроудобрениями в технологии возделывания зерновых культур обеспечивает физиологическую потребность растений в микроэлементах, способствует повышению урожайности, качества получаемой продукции, однако не снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. В настоящее время представляют интерес микроудобрения нового поколения – ультрадисперсные порошки металлов [29], и предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур проводится с использованием современных нанотехнологических подходов [13]. Поэтому нанометаллы можно представлять в качестве альтернативы простым солям микроэлементов. Однако в условиях Среднего Предуралья аналогичные исследования не проведены. В связи с этим вопрос о предпосевной обработке семян микроэлементами в форме нанометаллов подлежит изучению, имеет научную и практическую значимость.

Цель исследований: определить сравнительную эффективность предпосевной обработки семян разными формами микроудобрений в технологии возделывания на зерно сортов овса Улов и Гунтер на дерново-подзолистой почве.

Задачи исследований:

- 1) изучить сравнительную реакцию сортов овса Улов и Гунтер формированием урожайности на обработку семян овса перед посевом разными формами микроудобрений;
- 2) научно обосновать урожайность по вариантам опыта ее структурой;
- 3) определить качество зерна сортов овса в урожае.

Материал и методы исследования. Опыт проводили на опытном поле АО «Учхоз Июльское ИжГСХА» в экспериментальном севообороте кафедры растениеводства в 2012–2014 гг.

Схема опыта включала: фактор А – сорт: А₁) Улов (контроль), А₂) Гунтер, фактор В – предпосевная обработка семян: В₁) без обработки (контроль); В₂) вода (10 л/т) (контроль); В₃) сульфат кобальта – CoSO₄·7H₂O (450 г/т); В₄) сульфат меди – CuSO₄·5H₂O (900 г/т); В₅) сульфат цинка – ZnSO₄·7H₂O (900 г/т); В₆) смесь микроудобрений (CoSO₄ + CuSO₄ + ZnSO₄) (900 г/т); В₇) ЖУСС В+Cu (3 л/т); В₈) медь в наноформе (1 г/т); В₉) цинк в наноформе (1 г/т); В₁₀) никель в наноформе (1 г/т). Опыт полевой двухфакторный, повторность вариантов четырехкратная. Расположение вариантов методом расщепленных делянок в два яруса. Общая площадь делянки – 33 м², учетная площадь – 25 м². Дозы микроудобрений в опыте – согласно рекомендациям ЦИНАО [1, 7, 30]. Семена обрабатывали за 2 дня до посева. Норма расхода рабочего раствора во всех вариантах – 10 л на 1 т семян. Полевые опыты проводили в соответствии с методиками опытного дела [5, 6, 18].

До закладки опытов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы содержание гумуса среднее – 2,0–2,2% (по Тюрину), подвижного фосфора – от повышенного до очень высокого – 103–311 мг/кг и обменного калия – от среднего до высокого – 131–296 мг/кг (по Кирсанову), рН_{KCl} 5,4–5,7 – от слабокислой до близкой к нейтральной.

По метеорологическим условиям годы проведения исследований (2012–2014 гг.) различались, что характерно для климатических условий Среднего Предуралья. Относительно более благоприятными вегетационными периодами по метеорологическим условиям были 2012 и 2014 гг., что позволило получить более высокую урожайность зерна в опытах. Вегетационный период 2013 г. характеризовался относительно жаркой и сухой погодой, что отрицательно сказалось на формировании урожайности сортов овса.

В севообороте овес высевали после суданской травы, убранной на зеленый корм. После уборки предшественника проведены основная и предпосевная обработки почвы в соответствии с зональными рекомендациями [30].

Результаты исследований. Реакция сортов овса на абиотические условия формированием урожайности была разной. Урожайность овса Гунтер была выше на 0,20 т/га урожайности сорта Улов при НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 0,04 т/га (табл. 1). Обработка семян овса Улов перед посевом разными формами микроудобрений способствовала возрастанию урожайности на 0,24–0,49 т/га, или на 12–25% по вариантам опыта.

Таблица 1 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений урожайностью зерна, т/га (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (к)	Гунтер		
Контроль	без обработки	1,98	2,21	2,10	-
	вода	2,03	2,24	2,13	0,03
Сульфат	кобальта	2,37	2,51	2,44	0,34
	меди	2,35	2,53	2,44	0,34
	цинка	2,47	2,50	2,48	0,38
	смесь	2,28	2,63	2,46	0,36
Хелатное соединение	ЖУСС	2,35	2,60	2,48	0,38
Нанометалл	меди	2,32	2,48	2,40	0,30
	цинка	2,35	2,53	2,44	0,34
	никеля	2,22	2,48	2,35	0,25
Среднее главных эффектов по фактору А		2,27	2,47	-	-
Отклонение А		-	0,20	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		0,04		0,16	
Фактор В		0,08		0,11	

Урожайность данного сорта в вариантах с нанометаллами меди и цинка не имела существенных различий с урожайностью в вариантах с сульфатами кобальта, меди и ЖУСС. Вариант с наноникелем имел урожайность на уровне урожайности в варианте со смесью микроудобрений. Варианты с предпосевной обработкой семян обеспечили возрастание урожайности овса Гунтер на 0,27–0,42 т/га, или на 12–19%, кроме варианта с обработкой семян водой, по сравнению с урожайностью в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,11 т/га. Урожайность данного сорта при предпосевной обработке семян микроудобрениями в наноформе была на одном уровне в вариантах с сульфатами кобальта, меди и цинка.

В среднем по сортам использование различных форм микроудобрений повышало на 0,25–0,38 т/га урожайность сортов овса относительно урожайности в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ главных эффектов фактора В – 0,08 т/га. Средняя продуктивность сортов овса в вариантах с нанометаллами меди и цинка была на том же уровне, что и в вариантах с сульфатами кобальта и меди. Урожайность 2,48 т/га в варианте с сульфатом цинка и в варианте с наноцинком – 2,44 т/га – существенно не различались.

Овес Гунтер сформировал перед уборкой в среднем 453 шт./м² продуктивных стеблей, что превышает на 13 шт./м² густоту продуктивного стеблестоя у сорта Улов при НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 12 шт./м² (табл. 2). Больше на 41–111 шт./м² продуктивных стеблей у овса Улов наблюдали при предпосевной обработке

семян микроудобрениями относительно аналогичного показателя в контрольном варианте без обработки. По сравнению с плотностью продуктивных стеблей (394 шт./м²), сформированных в варианте обработка семян водой, в вариантах опыта с предпосевной обработкой семян продуктивных стеблей было больше на 37–107 шт./м². Существенное влияние на плотность продуктивного стеблестоя у овса Гунтер оказали все варианты с предпосевной обработкой семян, кроме варианта с обработкой семян водой, и повышали данный показатель на 49–83 шт./м² относительно густоты продуктивного стеблестоя в варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 21 шт./м².

Предпосевная обработка семян смесью микроудобрений и ЖУСС имела преимущество по густоте стояния продуктивного стеблестоя на 8-23 шт./м² к аналогичному показателю в остальных изучаемых вариантах. В среднем по сортам все формы микроудобрений способствовали повышению густоты продуктивного стеблестоя на 57–80 шт./м² относительно аналогичного показателя в варианте с необработанными семенами и на 54–77 шт./м² в варианте с увлажнением семян водой при НСР₀₅ главных эффектов по фактору В – 15 шт./м².

Реакция сортов овса на абиотические условия не имела существенных различий по высоте растений (табл. 3). Наибольшая высота растений овса Улов 67,0–71,3 см сформировалась в вариантах с предпосевной обработкой семян разными формами микроудобрений, что превышает аналогичный показатель в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 3,6 см.

Таблица 2 – Реакция сортов овса на предпосевную обработки семян разными формами микроудобрений густотой стояния продуктивных стеблей перед уборкой, шт./м² (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	390	398	394	-
	вода	394	400	397	3
Сульфат	кобальта	459	458	459	65
	меди	455	472	464	70
	цинка	501	447	474	80
	смесь	435	481	458	64
Хелатное соединение	ЖУСС	455	481	468	74
Нанометалл	меди	431	473	452	58
	цинка	437	464	451	57
	никеля	446	459	453	59
Среднее главных эффектов по фактору А		440	453	-	-
Отклонение А		-	13	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		12		46	
Фактор В		15		21	

Таблица 3 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений высотой растений перед уборкой, см (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	61,4	66,9	64,2	-
	вода	61,8	67,2	64,5	0,3
Сульфат	кобальта	71,3	70,1	70,7	6,5
	меди	68,4	71,0	69,7	5,5
	цинка	71,2	68,2	69,7	5,5
	смесь	66,3	73,1	69,7	5,5
Хелатное соединение	ЖУСС	70,1	70,1	70,1	5,9
Нанометалл	меди	67,9	69,1	68,5	4,3
	цинка	67,0	71,8	69,4	5,2
	никеля	69,5	68,6	69,1	4,9
Среднее главных эффектов по фактору А		67,5	69,6	-	-
Отклонение А		-	2,1	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		2,4		9,8	
Фактор В		2,5		3,6	

У сорта Гунтер на 4,1–6,2 см были выше растения в вариантах, где семена перед посевом обрабатывали сульфатом меди, смесью микроудобрений и цинком в наноформе при НСР₀₅ – 3,6 см. При предпосевной обработке семян сульфатом кобальта, сульфатом цинка, ЖУСС и медью, никелем в наноформе высота растений перед уборкой находилась на уровне аналогичных значений контрольного варианта без обработки. В среднем по двум сортам высота растений по вариантам опыта при предпосевной обработке семян разными формами микроудобрений, за исключением варианта с водой, составила 68,5–70,7 см.

Различия в урожайности по вариантам опыта обусловлены изменениями продуктивности соцветия у сортов овса. В среднем наибольшее количество колосков (16,8 шт.) в со-

цветии сформировал сорт Гунтер, что на 1,7 шт. больше аналогичного показателя у овса Улов при НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 0,6 шт. (табл. 4). При обработке семян овса Улов изучаемыми формами микроудобрений, за исключением варианта с водой, количество колосков в метелке было больше на 2,3–3,4 шт. аналогичного показателя в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 1,1 шт.

Наибольшее количество колосков в метелке у овса Улов сформировалось в вариантах с сульфатом кобальта и ЖУСС, что существенно превышает аналогичный показатель в контрольных вариантах. Варианты наномедь и наноникель по количеству колосков в соцветии не имели существенных различий с другими вариантами, где использовали простые соли ми-

кроудобрений. Количество колосков в соцветии у овса Гунтер возрастало на 2,6–4,4 шт. в вариантах с обработкой семян разными формами микроудобрений относительно количества колосков в метелке, сформировавшихся в варианте без обработки, – 13,9 шт. при НСР₀₅ частных различий фактора В – 1,1 шт. Сформировавшееся количество колосков в соцветии в результате предпосевной обработки семян цинком в наноформе имело преимущество по отношению к количеству колосков в метелке в вариантах с применением сульфатов кобальта, меди и цинка. Предпосевная обработка семян разными формами микроудобрений, за исключением варианта с водой, в среднем увеличила

количество колосков в соцветии сортов овса на 3,0–3,6 шт. относительно их количества в метелках в варианте без предпосевной обработки семян при НСР₀₅ главных эффектов фактора В – 0,8 шт.

Овес Гунтер по озерненности соцветия имел преимущество на 3,0 шт. перед сортом Улов при НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 1,4 шт. (табл. 5). Более высокую озерненность метелки у овса Улов наблюдали во всех вариантах с предпосевной обработкой семян разными формами микроудобрений, за исключением вариантов с обработкой семян водой, относительно количества зерен в метелке в контрольном варианте без обработки.

Таблица 4 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений количеством колосков в метелке перед уборкой, шт. (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	12,7	13,9	13,3	-
	вода	13,0	14,5	13,8	0,5
Сульфат	кобальта	16,1	16,5	16,3	3,0
	меди	15,8	16,9	16,4	3,1
	цинка	16,0	16,9	16,5	3,2
	смесь	15,4	18,0	16,7	3,4
Хелатное соединение	ЖУСС	16,1	17,6	16,9	3,6
Нанометалл	меди	15,8	17,4	16,6	3,3
	цинка	15,0	18,3	16,7	3,4
	никеля	15,6	17,5	16,6	3,3
Среднее главных эффектов по фактору А		15,1	16,8	-	-
Отклонение А		-	1,7	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		0,6		2,4	
Фактор В		0,8		1,1	

Таблица 5 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений озерненностью метелки перед уборкой, шт. (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	24,0	27,3	25,7	-
	вода	24,2	27,5	25,9	0,2
Сульфат	кобальта	31,6	32,2	31,9	6,2
	меди	29,7	32,2	31,0	5,3
	цинка	31,4	33,2	32,3	6,6
	смесь	27,7	34,2	31,0	5,3
Хелатное соединение	ЖУСС	30,8	33,6	32,2	6,5
Нанометалл	меди	29,6	32,0	30,8	5,1
	цинка	28,8	33,5	31,2	5,5
	никеля	30,9	33,5	32,2	6,5
Среднее главных эффектов по фактору А		28,9	31,9	-	-
Отклонение А		-	3,0	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		1,4		5,6	
Фактор В		1,4		2,0	

По сравнению с озерненностью соцветия, полученной в варианте с обработкой семян цинком в наноформе, озерненность метелки овса Улов существенно увеличивалась при использовании сульфата цинка. Данный показатель у сорта Гунтер в вариантах с предпосевной обработкой семян разными формами микроудобрений существенно возрос на 4,7–6,9 шт. в сравнении с их количеством в соцветии в варианте без обработки и на 4,5–6,7 шт. относительно варианта с увлажнением семян водой при НСР₀₅ частных различий фактора В – 2,0 шт. Не было выявлено существенных различий по озерненности метелки в зависимости от предпосевной обработки семян между разными формами микроудобрений. Предпосевная обработка семян сульфатом кобальта и сульфатом цинка, ЖУСС и никелем в наноформе способствовала в среднем дополнительному формированию зерна в метелке у сортов овса, в отличие от озерненности метелки в контрольном варианте без обработки, разница составила 6,2–6,5 шт. при НСР₀₅ главных эффектов фактора В – 1,4 шт.

Наибольшее содержание белка 12,6% в зерне выявлено у сорта Улов, что на 2,0% больше, чем содержание белка в зерне у сорта Гунтер при НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 0,5% (табл. 6).

Предпосевная обработка семян разными формами микроудобрений способствовала повышению на 0,5–1,9% содержания белка в зерне овса Улов, за исключением варианта с водой, по сравнению с аналогичным показателем в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,5%. Больше содержание белка (13,5% и 13,2%) в зерне овса Улов отмечено в вариан-

тах с применением меди и цинка в наноформе относительно аналогичного показателя в вариантах с сульфатами меди и цинка. Применение разных форм микроудобрений способствовало возрастанию на 0,6–2,1% содержания белка в зерне овса Гунтер, за исключением варианта с водой, относительно аналогичного показателя в контрольном варианте без обработки при НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,5%.

В среднем реакция сортов овса содержанием сырого жира в урожае зерна на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений была одинаковой (табл. 7).

В результате предпосевной обработки семян овса Улов разными формами микроудобрений содержание жира в урожае зерна было несколько выше (0,2–0,5%), за исключением варианта с никелем в наноформе, чем аналогичный показатель в контрольных вариантах (4,6%) при НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,2%. Содержание жира в зерне овса Гунтер зависело от применяемых форм микроудобрений и повышалось на 0,1–1,1%, кроме варианта, где семена обрабатывали водой, медью, цинком и никелем в наноформе. В среднем применение микроудобрений повышало на 0,2–0,7% содержание сырого жира в зерне сортов овса Улов и Гунтер, за исключением варианта с водой и никелем в наноформе по отношению к контрольному варианту без обработки (НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 0,1%).

Содержание аминокислот в зерне относительно их содержания в зерне контрольного варианта у обоих сортов было выше при предпосевной обработке семян препаратом ЖУСС (табл. 8).

Таблица 6 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений содержанием белка в урожае зерна, % на сухое вещество (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	11,6	9,4	10,5	-
	вода	11,6	9,5	10,6	0,1
Сульфат	кобальта	12,7	10,5	11,6	1,1
	меди	13,0	11,0	12,0	1,5
	цинка	12,1	11,5	11,8	1,3
	смесь	12,6	10,0	11,3	0,8
Хелатное соединение	ЖУСС	12,7	10,9	11,8	1,3
Нанометалл	меди	13,5	11,3	12,4	1,9
	цинка	13,2	11,0	12,1	1,6
	никеля	13,3	10,9	12,1	1,6
Среднее главных эффектов по фактору А		12,6	10,6	-	-
Отклонение А		-	2,0	-	-
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		0,5		2,1	
Фактор В		0,4		0,5	

Таблица 7 – Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений содержанием сырого жира в урожае зерна, % на сухое вещество (среднее 2012–2014 гг.)

Предпосевная обработка семян (В)		Сорт (А)		Среднее главных эффектов по фактору В	Отклонение В
		Улов (κ)	Гунтер		
Контроль	без обработки	4,6	4,6	4,6	
	вода	4,6	4,7	4,6	0
Сульфат	кобальта	5,1	5,0	5,1	0,5
	меди	5,0	4,8	4,9	0,3
	цинка	5,0	4,9	4,9	0,3
	смесь	4,8	5,7	5,3	0,7
Хелатное соединение	ЖУСС	5,0	5,2	5,1	0,5
Нанометалл	меди	4,9	4,7	4,8	0,2
	цинка	4,9	4,7	4,8	0,2
	никеля	4,7	4,5	4,6	0
Среднее главных эффектов по фактору А		4,9	4,9		
Отклонение А			0,0		
НСР ₀₅		главных эффектов		частных различий	
Фактор А		$F_{\phi} < F_{05}$		$F_{\phi} < F_{05}$	
Фактор В		0,1		0,2	

Таблица 8 – Содержание аминокислот в урожае зерна сортов овса в зависимости от предпосевной обработки семян, (% на сухое вещество), 2014 г.

Аминокислоты	Улов		Гунтер	
	без обработки (κ)	ЖУСС	без обработки (κ)	ЖУСС
Метионин	0,22	0,34	0,35	0,41
Валин	0,59	0,67	0,46	0,78
Треонин	0,52	0,77	0,70	0,80

В варианте с применением ЖУСС в зерне овса Улов содержание метионина была выше на 0,12%, валина – на 0,08% и треонина – на 0,25% относительно аналогичных значений в контрольном варианте. В зерне сорта Гунтер микроудобрение повысило содержание метионина на 0,06%, валина – на 0,32%, треонина – на 0,1%.

Заключение:

1. Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян разными формами микроудобрений характеризовалась формированием средней урожайности зерна: Улов – 2,25 т/га, Гунтер – 2,46 т/га. Средняя урожайность сортов овса в вариантах с нанометаллами меди и цинка была на том же уровне, как и в вариантах с сульфатами кобальта и меди.

2. Прибавка урожайности сформировалась за счет увеличения густоты стояния продуктивных стеблей к уборке и озерненности метелки.

3. Микроудобрения способствовали повышению содержания белка в зерне овса Улов на 0,5–1,9%, сорта Гунтер – на 0,6–2,1%. В среднем по сортам наибольшее содержание белка в зерне 12,1 – 12,4% наблюдали при предпосев-

ной обработке семян нанометаллами. Предпосевная обработка сортов овса разными формами удобрений повышала в среднем на 0,2–0,7% содержание жира в урожае зерна. Содержание аминокислот в зерне относительно их содержания в контрольном варианте у обоих сортов было выше при предпосевной обработке семян микроудобрением ЖУСС.

Список литературы

1. Вафина, Э.Ф. Микроудобрения и формирование урожая овса в Среднем Предуралье: монография / Э.Ф. Вафина, И.Ш. Фатыхов, В.Г. Колесникова. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 144 с.
2. Вафина, Э.Ф. Микроудобрения и формирование урожайности рапса в Среднем Предуралье: монография / Э.Ф. Вафина, А.О. Мерзлякова, И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 143 с.
3. Вафина, Э.Ф. Реакция сорта овса Аргамак на предпосевную обработку семян микроэлементами / Э.Ф. Вафина, И.Ш. Фатыхов, В.Г. Колесникова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 8. – С.17–18.
4. Гореева, В.Н. Содержание микроэлементов в семенах льна-долгунца Восход в зависимости от предпосевной обработки семян микроудобрениями / В.Н. Гореева, Е.В. Корепанова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3-4 (20-21). – С. 39–42.
5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.
7. Инструкция по протравливанию семян сельскохозяйственных культур пленкообразующими

составами на основе водорастворимых полимеров NaКМЦ и ПВС. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 30 с.

8. Коконов, С.И. Приемы возделывания пивоваренного ячменя в Среднем Предуралье: монография / С.И. Коконов, И.Ш. Фатыхов; рец. В.М. Макарова [и др.]; ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2003. – 161 с.

9. Коконов, С.И. Формирование урожайности ячменя Раушан при предпосевной обработке семян микроэлементами / С.И. Коконов, Н.И. Мазунина // Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 450-летию вхождения Удмуртии в состав России. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – 2006. – С. 35–41.

10. Коконов, С.И. Изучение влияния предпосевной обработки семян разными формами микроэлементов на урожайность зерна проса в Среднем Предуралье / С.И. Коконов, В.В. Сентемов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3 (32). – С. 12-13.

11. Колесникова, В.Г. Овес / В.Г. Колесникова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 2 (8). – С. 47-49.

12. Корепанова, Е.В. Приемы предпосевной обработки семян и ухода за посевами льна-долгунца в Среднем Предуралье: монография / Е.В. Корепанова, П.А. Кузьмин, И.Ш. Фатыхов; под ред. И.Ш. Фатыхова. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 130 с.

13. Кубашева, А.И. Реакция сортов овса на предпосевную обработку семян микроудобрениями в наноразмерной форме / А.И. Кубашева, В.Г. Колесникова, И.Ш. Фатыхов // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2013. – С. 15-20.

14. Кузнецов, М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии / М.Ф. Кузнецов. – Ижевск: Удм. ун-т, 1994. – 287 с.

15. Курылёва, А.Г. Эффективность предпосевной обработки семян ячменя / А.Г. Курылёва, И.Ш. Фатыхов // Защита и карантин растений. – 2012. – № 1. – С. 21.

16. Мазунина, Н.И. Микроудобрения и формирование урожая ячменя в Среднем Предуралье: монография / Н.И. Мазунина; под науч. ред. И.Ш. Фатыхова; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Ижевская гос. с.-х. акад.». – Ижевск, 2009. – 143 с.

17. Мазунина, Н.И. Урожайность ячменя Раушан при предпосевной обработке семян микроэлементами на разных фонах микроудобрений / Н.И. Мазунина, И.Ш. Фатыхов, С.И. Коконов // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 3(109). – С. 6–9.

18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск третий / под общей ред. М.А. Федина: Гос. ком. по сортоис-

пытанию сельскохозяйственных культур при МСХ СССР. – М., 1983. – 45 с.

19. Рябова, Т.Н. Предпосевная обработка семян и формирование урожайности овса Конкур / Т.Н. Рябова, Ч.М. Салимова // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск, 2011. – С. 146-149.

20. Рябова, Т.Н. Фотосинтетическая деятельность овса Конкур в зависимости от предпосевной обработки семян / Т.Н. Рябова, Ч.М. Исламова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – С. 27–30.

21. Тихонова, О.С. Предпосевная обработка семян и урожайность озимых зерновых культур / О.С. Тихонова, И.Ш. Фатыхов, Т.А. Бабайцева // Устойчивому развитию АПК – научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 24-27 февраля 2004 г. / ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2004. – Т. 1. – С. 150–154.

22. Толканова, Л.А. Приемы посева овса посевного в Среднем Предуралье: монография / Л.А. Толканова, В.М. Макарова, И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 148 с.

23. Фатыхов, И.Ш. Яровой ячмень в адаптивном земледелии Среднего Предуралья: монография / И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2002. – 385 с.

24. Фатыхов, И.Ш. Урожайность овса Аргамак в зависимости от обработки семян микроэлементами / И.Ш. Фатыхов, В.Г. Колесникова, Э.Ф. Вафина // Устойчивому развитию АПК – научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск, 2004. – С. 173–177.

25. Фатыхов, И.Ш. Влияние предпосевной обработки семян озимых зерновых на урожайность / И.Ш. Фатыхов, О.С. Тихонова // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 26–27.

26. Фатыхов, И.Ш. Реакция сортов картофеля на предпосадочную обработку клубней / И.Ш. Фатыхов, И.Г. Мухаметшин // Агробиологическому факультету Ижевской ГСХА – 60 лет: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск, 2014. – С. 102-106.

27. Фатыхов, И.Ш. Научные основы системы земледелия Удмуртской Республики: практическое руководство в 4 книгах / И.Ш. Фатыхов, Е.В. Корепанова. – Ижевск, 2015. – Книга 1. Почвенно-климатические условия. Системы обработки почвы.

28. Хвошнянская, А.О. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на фотосинтетическую деятельность растений ярового рапса / А.О. Хвошнянская, Э.Ф. Вафина // Науке нового века – знания молодых: сборник статей 8-й научной конференции аспирантов и соискателей: в 2 ч. – Киров: Вятская ГСХА, 2008. – Ч. 1. – С. 82–85.

29. Чурилов, Г.И. Экологические аспекты действия нанокристаллической меди на систему «почва-растения-животные» / Г.И. Чурилов // Вестник Самарского государственного университета. – 2009. – № 72. – С. 206–212.

30. Энергосберегающая технология возделывания овса / рук.: И.Ш. Фатыхов, Л.А. Толканова, В.Г. Колесникова, В.А. Капеев; разработ.: Ижевская ГСХА, каф. растениеводства // Законченные научные разработки Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, рекомендованные к использованию в производстве / Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2000. – С. 25.

Spisok literatury

1. Vafina, Je.F. Mikroudobrenija i formirovanie urozhaja ovsa v Srednem Predural'e: monografija / Je.F. Vafina, I.Sh. Fatyhov, V.G. Kolesnikova. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2007. – 144 s.

2. Vafina, Je.F. Mikroudobrenija i formirovanie urozhajnosti rapsa v Srednem Predural'e: monografija / Je.F. Vafina, A.O. Merzljakova, I.Sh. Fatyhov. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2013. – 143 s.

3. Vafina, Je.F. Reakcija sorta ovsa Argamak na predposevnuju obrabotku semjan mikrojelementami / Je.F. Vafina, I.Sh. Fatyhov, V.G. Kolesnikova // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2014. – № 8. – S.17–18.

4. Goreeva, V.N. Soderzhanie mikrojelementov v semenah l'na-dolgunca Voshod v zavisimosti ot predposevnoj obrabotki semjan mikroudobrenijami / V.N. Goreeva, E.V. Korepanova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2009. – № 3-4 (20-21). – S. 39–42.

5. Dospheov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). / B.A. Dospheov. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

6. Dospheov, B.A. Praktikum po zemledeliju / B.A. Dospheov, I.P. Vasil'ev, A.M. Tulikov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 383 s.

7. Instrukcija po protravlivaniju semjan sel'skohozjajstvennyh kul'tur plenkoobrazujushhimi sostavami na osnove vodorastvorimyh polimerov NaKM i PVS. – M.: Rossel'hozizdat, 1986. – 30 s.

8. Kokonov, S.I. Priemy vozdelivanija pivovarenного jachmenja v Srednem Predural'e: monografija / S.I. Kokonov, I.Sh. Fatyhov ; rec. V.M. Makarova [i dr.]; FGOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk: Izhevskaja GSHA, 2003. – 161 s.

9. Kokonov, S.I. Formirovanie urozhajnosti jachmenja Raushan pri predposevnoj obrabotke semjan mikrojelementami / S.I. Kokonov, N.I. Mazunina // Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., posvjashhennoj 450-letiju vhozhenija Udmurtii v sostav Rossii. Izhevskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija. – 2006. – S. 35–41.

10. Kokonov, S.I. Izuchenie vlijanija predposevnoj obrabotki semjan raznymi formami mikrojelementov na urozhajnost' zerna prosa v Srednem Predural'e / S.I. Ko-

konov, V.V. Sentemov // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2012. – № 3 (32). – S. 12-13.

11. Kolesnikova, V.G. Oves / V.G. Kolesnikova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2006. – № 2 (8). – S. 47-49.

12. Korepanova, E.V. Priemy predposevnoj obrabotki semjan i uhoda za posevami l'na-dolgunca v Srednem Predural'e: monografija / E.V. Korepanova, P.A. Kuz'min, I.Sh. Fatyhov; pod red. I.Sh. Fatyhova. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2010. – 130 s.

13. Kubasheva, A.I. Reakcija sortov ovsa na predposevnuju obrabotku semjan mikroudobrenijami v nanorazmernoj forme / A.I. Kubasheva, V.G. Kolesnikova, I.Sh. Fatyhov / Nauchnoe obespechenie APK. Itogi i perspektivy: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 70-letiju FGOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2013. – S. 15-20.

14. Kuznecov, M.F. Mikrojelementy v pochvah Udmurtii / M.F. Kuznecov. – Izhevsk: Udm. un-t, 1994. – 287 s.

15. Kuryleva, A.G. Jeffektivnost' predposevnoj obrabotki semjan jachmenja / A.G. Kuryleva, I.Sh. Fatyhov // Zashhita i karantin rastenij. – 2012. – № 1. – S. 21.

16. Mazunina, N.I. Mikroudobrenija i formirovanie urozhaja jachmenja v Srednem Predural'e: monografija / N.I. Mazunina; pod nauch. red. I.Sh. Fatyhova; M-vo sel'skogo hoz-va Rossijskoj Federacii, Federal'noe gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovanija «Izhevskaja gos. s.-h. akad.». – Izhevsk, 2009. – 143 s.

17. Mazunina, N.I. Urozhajnost' jachmenja Raushan pri predposevnoj obrabotke semjan mikrojelementami na raznyh fonah mikroudobrenij / N.I. Mazunina, I.Sh. Fatyhov, S.I. Kokonov // Agrarnyj vestnik Urala. – 2013. – № 3(109). – S. 6–9.

18. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Vypusk tretij / pod obshhej red. M.A. Fedina: Gos. kom. po sortoispytaniyu sel'skohozjajstvennyh kul'tur pri MSH SSSR. – M., 1983. – 45 s.

19. Rjabova, T.N. Predposevnaja obrabotka semjan i formirovanie urozhajnosti ovsa Konkur / T.N. Rjabova, Ch.M. Salimova // Nauchnoe obespechenie razvitija APK v sovremennyh uslovijah: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Izhevskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija. – Izhevsk, 2011. – S. 146-149.

20. Rjabova, T.N. Fotosinteticheskaja dejatel'nost' ovsa Konkur v zavisimosti ot predposevnoj obrabotki semjan / T.N. Rjabova, Ch.M. Islamova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2014. – S. 27–30.

21. Tihonova, O.S. Predposevnaja obrabotka semjan i urozhajnost' ozimyh zernovyh kul'tur / O.S. Tihonova, I.Sh. Fatyhov, T.A. Babajceva // Ustojchivomu razvitiju APK – nauchnoe obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 24-27 fevralja 2004 g. / FGOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2004. – T. 1. – S. 150–154.

22. Tolkanova, L.A. Priemy poseva ovsa posevnogo v Srednem Predural'e : monografija / L.A. Tolkanova, V.M. Makarova, I.Sh. Fatyhov. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2007. – 148 s.

23. Fatyhov, I.Sh. Jarovoj jachmen' v adaptivnom zemledelii Srednego Predural'ja: monografija / I.Sh. Fatyhov. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2002. – 385 s.

24. Fatyhov, I.Sh. Urozhajnost' ovsa Argamak v zavisimosti ot obrabotki semjan mikroelementami / I.Sh. Fatyhov, V.G. Kolesnikova, Je.F. Vafina // Ustojchivomu razvitiyu APK – nauchnoe obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Izhevskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija. – Izhevsk, 2004. – S. 173–177.

25. Fatyhov, I.Sh. Vlijanie predposevnoj obrabotki semjan ozimyh zernovyh na urozhajnost' / I.Sh. Fatyhov, O.S. Tihonova // Zernovoe hozjajstvo. – 2006. – № 3. – S. 26–27.

26. Fatyhov, I.Sh. Reakcija sortov kartofelja na predposadochnuju obrabotku klubnej / I.Sh. Fatyhov, I.G. Muhametshin // Agronomicheskomu fakul'tetu Izhevskoj GSHA – 60 let: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Izhevskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija. – Izhevsk, 2014. – S. 102-106.

27. Fatyhov, I.Sh. Nauchnye osnovy sistemy zemledelija Udmurtskoj Respubliki: prakticheskoe rukovodstvo v 4 knigah / I.Sh. Fatyhov, E.V. Korepanova. – Izhevsk, 2015. – Kniga 1. Pochvenno-klimaticheskie uslovija. Sistemy obrabotki pochvy.

28. Hvoshnjanskaja, A.O. Vlijanie predposevnoj obrabotki semjan mikroelementami na fotosinteticheskiju dejatel'nost' rastenij jarovogo rapsa / A.O. Hvoshnjanskaja, Je.F. Vafina // Nauke novogo veka – znaniya molodyh: sbornik statej 8-j nauchnoj konferencii aspirantov i soiskatelej: v 2 ch. – Kirov: Vjatskaja GSHA, 2008. – Ch. 1. – S. 82–85.

29. Churilov, G.I. Jekologicheskie aspekty dejstvija nanokristallicheskoj medi na sistemu «pochva-rastenija-zhivotnye» / G.I. Churilov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2009. – № 72. – S. 206–212.

30. Jenergosberegajushhaja tehnologija vozdeľyvanija ovsa / ruk.: I.Sh. Fatyhov, L.A. Tolkanova, V.G. Kolesnikova, V.A. Kapeev; razrab.: Izhevskaja GSHA, kaf. rastenievodstva // Zakonchennye nauchnye razrabotki Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii, rekomendovannye k ispol'zovaniju v proizvodstve / Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2000. – S. 25.

Сведения об авторах:

Кадырова Алсу Ильхамовна – аспирант кафедры растениеводства. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: kvg789@yandex.ru).

Колесникова Вера Геннадьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: kvg789@yandex.ru).

A.I. Kadyrova, V.G. Kolesnikova
Izhevsk State Agricultural Academy

APPLIANCE OF MICRONUTRIENTS IN NANOFORM IN OATS CULTIVATION TECHNOLOGY

The reaction of oats varieties Ulov and Gunter to pre-sowing treatment with micronutrient fertilizers in various forms is studied. The purpose of research is to determine the relative effectiveness of pre-sowing seed treatment with various forms of micronutrient fertilizers in the cultivation process of grain varieties of oats Ulov and Gunter in the sod-podzolic soil. Pre-sowing seed treatment of oats grain Ulov with micronutrient fertilizers provides an increase in grain yield by 12-25%, the variety Gunter by 12-19%. The average crop yield of oat varieties in versions with nanometal of copper and zinc was on the same level as in the versions with cobalt and copper sulfates. The productivity increase was formed due to the increase of plant density of productive stems to the harvest and grain content of panicles. Micronutrient fertilizers contributed to the raise of the protein content of the grain oats Ulov by 0.5 - 1.9%, Gunter by 0.6 - 2.1%. The highest protein content in the grain of 12.1 - 12.4% was observed with pre-sowing seed treatment with solutions of nanometals on average. Pre-sowing seed treatment of oats varieties with different forms of fertilizers raised the fat content in the grain yield by 0.2 - 0.7% on average. With the application of micronutrient fertilizer ZhUSS in grain oats Ulov the methionine content was higher by 0.12%, valine by 0.08% and threonine by 0.25% as compared to similar values in the control variant. The application of micronutrient fertilizer in Gunter grain increased the methionine content by 0.06%, valine by 0.32%, threonine by 0.1%.

Key words: oat; variety; grain yield; pre-sowing seed treatment; micronutrient fertilizers; nanometals; ZhUSS; protein; fat; amino acids.

Authors:

Kadyrova Alsou Ilhamovna – post-graduate student of Plant Cultivation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov Street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: kvg789@yandex.ru).

Kolesnikova Vera Gennadievna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Plant Cultivation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov Street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: kvg789@yandex.ru).

УДК 633.282

А.А. Никитин

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

КОРМОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ ПОСЕВОВ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ

В смешанных посевах значительно улучшается химический состав возделываемых культур, это увеличивает поедаемость и переваримость питательных веществ приготовляемого из них корма. Исследования проводили в 2013-2015 гг. в экспериментальном севообороте кафедры растениеводства АО «Учхоз Июльское ИжГСХА» на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве с низким и средним содержанием гумуса, со слабокислой и близкой к нейтральной $pH_{КСР}$ средним и повышенным содержанием подвижного фосфора, с высоким и очень высоким – обменного калия, с целью определения оптимальных сроков уборки агроценозов суданской травы Чишминская ранняя на кормовые цели. В опыте изучали различные агроценозы суданской травы (суданская трава в одновидовом посеве, суданская трава + яровая вика, суданская трава + озимая вика и суданская трава + горох) и сроки уборки (фаза выхода в трубку, фаза выметывания и фаза молочного состояния зерна суданской травы). Представленные результаты многолетних исследований доказывают целесообразность возделывания суданской травы в смеси с зерновыми бобовыми культурами и уборку в поздние сроки. При этом снижается доля участия в урожае разнотравья, увеличивается сбор сырого протеина (на 0,68-0,98 т/га), а также формируется наибольшая кормовая продуктивность 69,2-83,3 ГДж/га. При проведении анализа аминокислотного состава отмечено повышение суммы незаменимых аминокислот на 0,88% в сухом веществе агроценоза суданской травы с горохом.

Ключевые слова: суданская трава; агроценоз; сроки уборки; кормовая продуктивность; аминокислотный состав.

Актуальность. Одной из важнейших задач по созданию кормовой базы животноводства является решение проблемы полноценного рациона, сбалансированного по сухому веществу, протеину с учетом незаменимых кислот, сахара, каротина, клетчатки и других показателей [2]. Создание прочной кормовой базы предполагает не только использование традиционного набора районированных кормовых культур и соблюдение технологических требований по их возделыванию и заготовке, но и расширение ассортимента за счет интродукции новых перспективных видов и сортов с учетом биоклиматического потенциала территории. Большой интерес представляют малораспространенные кормовые культуры, сочетающие скороспелость, засухоустойчивость в первой половине вегетации и устойчивость к переувлажнению во время созревания [1]. К таким культурам можно отнести суданскую траву. Это одна из немногих кормовых культур, наиболее полно отвечающих требованиям интенсивного кормопроизводства. В ней удачно сочетаются многие ценные биологические свойства с высокой продуктивностью и хорошими кормовыми качествами. Повышенное содержание сахара (до 16,7%) обуславливает хорошую поедаемость и силосуемость суданской травы. Она стоит в ряду наиболее перспективных кормовых культур вследствие ее высокой экологической пластичности. Способность быстро отрас-

тать после скашивания или стравливания способствует быстрому внедрению этой культуры в производство, делает ее одной из самых ценных однолетних кормовых культур [15].

Однако зеленая масса суданской травы не сбалансирована по содержанию переваримого протеина (примерно 60% по зоотехнической норме) [18]. Проблема заготовки кормов с низким содержанием переваримого протеина в кормах отрицательно сказывается на сбалансированности кормовых рационов, а это приводит к перерасходу кормов и увеличению себестоимости животноводческой продукции [4]. Из-за недостатка белкового сырья перерасход зерна на корм скота в хозяйствах России превышает 20-30 млн. т, а дефицит протеина в концентрированных кормах в последние годы составляет 1,7 млн. т, или 37% от потребности [5]. Для повышения кормовой ценности фитомассы основных силосных культур в силосные и сенажные агроценозы многие исследователи рекомендуют включать высокобелковые растения, в частности бобовые культуры [21]. Зернобобовые культуры, отличаясь высоким содержанием белка, дают не только ценную продукцию, но и сохраняют почвенное плодородие, усваивая азот из воздуха. Они способны повысить продуктивность кормовых фитоценозов, снизить потребность в азотных туках, при этом оставаясь лучшими предшественниками для зерновых и других культур [7].

Одними из таких культур являются вика и горох, которые можно использовать в смесях для приготовления всех видов кормов [11]. Для кормопроизводства большой интерес представляет использование смешанных посевов – правильно подобранные компоненты позволяют получать сбалансированные корма. При этом большое значение имеет не только физическая масса продукции, но и ее кормовая ценность [20]. Смешанные посевы кормовых культур позволяют рационально использовать погодные условия, повышать устойчивость урожая, увеличивать валовой сбор корма и белка с единицы площади. В смешанных посевах значительно улучшается химический состав возделываемых культур, это увеличивает поедаемость и переваримость питательных веществ приготовляемого из них корма [10]. Бобовый компонент в совместных посевах улучшает условия азотно-фосфорного питания злакового компонента за счет фиксации атмосферного азота и перевода труднорастворимых фосфатов в легкодоступную форму [20]. Однако компонентный состав смесей не может быть универсальным. Для каждой почвенно-климатической зоны необходимо подбирать конкретные компоненты и их соотношение [17].

При уборке растений на зеленый корм необходимо учитывать, что на химический состав и питательность корма существенное влияние оказывает фаза вегетации растений. В период вегетации растений отмечается накопление сухого вещества, увеличение количества клетчатки, снижение уровня сырого протеина. При этом переваримость отдельных питательных веществ снижается [3]. По мнению многих ученых наряду с уборкой однолетних травосмесей в ранние фазы вегетации перспективной является их уборка на зерносенажное сырье в фазу молочно-восковой спелости злакового компонента. Этот прием позволяет получить ценный концентрированный готовый к употреблению корм.

В условиях Среднего Предуралья выявлена реакция проса обыкновенного на сроки и способы уборки при возделывании на кормовые цели. Исследованиями установлено, что при уборке проса в период молочно-тестообразного состояния и начале восковой спелости содержание сырой клетчатки увеличилось на 2,2%, сырого протеина снизилось на 2,3% [12, 13]. Возможность получения высокой кормовой продуктивности суданской травы сорта Чишминская ранняя при разных приемах посева доказана С.И. Коконовым и В.З. Латфуллиным [14, 16]. Смешанные посевы суданской травы с другими культурами в условиях Сред-

него Предуралья ранее не изучались. Расчеты Ю.М. Мельниченко показали, что по биоэнергетическим показателям смешанные посевы суданской травы имеют преимущество перед одновидовыми, однако исследования были выполнены на других сортах, в иных почвенно-климатических условиях, что вызывает необходимость проведения исследований на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Среднего Предуралья.

Цель работы: определение оптимальных сроков уборки агроценозов суданской травы Чишминская ранняя при возделывании на кормовые цели в Среднем Предуралье.

Материал и методы. Исследования проводили в 2013-2015 гг. в экспериментальном севообороте кафедры растениеводства АО «Учхоз Июльское ИжГСХА» на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве с содержанием в пахотном слое гумуса от низкого до высокого (1,6-3,3%), со слабокислой и близкой к нейтральной pH_{KCl} (5,5-5,7), средним и очень высоким содержанием подвижного фосфора (87-279 мг/кг почвы), высоким и очень высоким – обменного калия (177-359). Опыт закладывали по общепринятой методике [9] по следующей схеме: фактор (А) – агроценоз: суданская трава (3 млн. штук всхожих семян/га, контроль), суданская трава + яровая вика (2 млн. штук всхожих семян/га + 1 млн штук всхожих семян/га), суданская трава + озимая вика (2 млн. штук всхожих семян/га + 1 млн штук всхожих семян/га) и суданская трава + горох (2 млн. штук всхожих семян/га + 0,6 млн. штук всхожих семян/га); фактор (В) – срок уборки: фаза выхода в трубку суданской травы (бутонизация бобовых), фаза выметывания (цветение – образование бобов) и фаза молочного состояния зерна суданской травы (созревание семян). Предшественник – картофель. Одновидовые посевы проводили рекомендованной нормой высева в регионе 3 млн. штук всхожих семян/га, агроценозы составили для получения силосной массы из расчета 2/3 нормы высева суданской травы и 1/3 зерновой бобовой культуры. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию на планируемую урожайность 30 т/га зеленой массы с учетом содержания питательных веществ в почве и последствия навоза в дозе $N_{24-30} P_{12-15} K_{12-15}$. Основную и предпосевную обработку почвы проводили в соответствии с рекомендациями адаптивно-ландшафтной системы земледелия [22]. Опыт полевой, расположение вариантов систематическое, в четырехкратной повторности, в два яруса. Общая площадь делянки 25 м².

Метеорологические условия 2013 г. характеризовались как острозасушливые до фазы кущения суданской травы (ГТК составил 0–0,2), что отрицательно повлияло на формирование урожайности. Вегетационные периоды 2014 и 2015 гг. были относительно прохладными и влажными, что способствовало увеличению продолжительности вегетации растений.

Определение содержания аминокислотного состава проводили согласно ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот [8].

Результаты исследований. Исследования, проведенные в 2013-2015 гг., выявили зависимость продуктивности суданской травы от состава агроценоза и сроков уборки (табл. 1). В среднем за 2013-2015 гг. исследований при возделывании суданской травы в одновидовом посеве урожайность сухого вещества составила 4,53 т/га. Включение в агроценоз зернобобовых культур позволяет получить существенную прибавку сбора сухого вещества 0,68-1,53 т/га при НСР₀₅ главных эффектов фактора – А 0,19 т/га.

При уборке агроценозов суданской травы в фазе выхода в трубку сбор сухого вещества составил 3,65 т/га, что существенно ниже продуктивности агроценозов при более поздних сроках уборки. Так, при уборке в фазе выметывания урожайность в среднем составила 5,27 т/га, при уборке в фазе молочного состояния зерна – 6,94 т/га. Наибольшая урожайность сухого вещества 8,26 т/га была получена при уборке смеси суданской травы и гороха в фазе молочного состояния зерна (НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,24 т/га).

Возделывание суданской травы в смеси с бобовыми культурами дает возможность повысить питательную ценность кормов. Так, содержание сырого протеина в сухом веществе агроценозов суданской травы с зерновыми бобовыми культурами было выше на 5,3-6,0% относительно данного показателя в одновидовом посеве суданской травы. Отмечена тенденция

уменьшения содержания сырого протеина в сухом веществе суданской травы по мере развития растений, а при возделывании суданской травы в смеси с бобовыми культурами отмечена обратная зависимость: в более поздние сроки уборки содержание сырого протеина увеличивалось. Содержание обменной энергии при уборке растений в фазе выхода в трубку было выше относительно данного показателя при более поздних сроках уборки, что, в свою очередь, отразилось на кормовой продуктивности.

Возделывание суданской травы в смеси с бобовыми культурами дает возможность повысить кормовую продуктивность (табл. 2). Так, при уборке одновидового посева суданской травы выход обменной энергии 47,9 ГДж/га был значительно ниже на 7,1-14,9 ГДж/га, чем продуктивность агроценозов суданской травы с зерновыми бобовыми культурами (НСР₀₅ главных эффектов фактора А – 2,0 ГДж/га).

Уборка в период выметывания – молочного состояния зерна обусловила кормовую продуктивность агроценозов на 15,5-31,2 ГДж/га, чем при уборке в фазе выхода в трубку. Прибавка существенна при НСР₀₅ главных эффектов фактора В – 1,3 ГДж/га. Наибольшая продуктивность 83,3 ГДж/га получена при уборке смешанного посева суданской травы с горохом в фазе молочного состояния зерна суданской травы. Разница 9,0-25,5 ГДж/га, или 11-31%, существенна по сравнению с данным показателем других агроценозов при уборке в фазе молочного состояния зерна суданской травы при НСР₀₅ частных различий фактора В – 2,5 ГДж/га.

Возделывание суданской травы с бобовыми культурами способствует значительному увеличению сбора сырого протеина на 0,41-0,56 т/га относительно данного показателя в контрольном варианте. Сбор сырого протеина при уборке в фазе выхода в трубку в среднем составил 0,57 т/га, что существенно ниже относительно продуктивности в последующие фазы уборки.

Таблица 1 – Урожайность сухого вещества агроценозов суданской травы, т/га, 2013-2015 гг.

Агроценоз А	Срок уборки В			Среднее (А)
	фаза выхода в трубку	фаза выметывания (к)	фаза молочного состояния зерна	
Суданская трава (к)	3,47	4,47	5,64	4,53
Суданская трава + яровая вика	3,64	5,27	6,71	5,21
Суданская трава + озимая вика	3,75	5,15	7,16	5,35
Суданская трава + горох	3,73	6,20	8,26	6,06
Среднее (В)	3,65	5,27	6,94	
НСР ₀₅	главных эффектов		частных различий	
Фактор А	0,19		0,33	
Фактор В	0,12		0,24	

Таблица 2 – Кормовая продуктивность агроценозов суданской травы в зависимости от срока уборки, 2013-2015 гг.

Агроценоз А	Выход обменной энергии, ГДж/га			Среднее (А)	Сбор сырого протеина, т/га			Среднее (А)
	срок уборки В				срок уборки В			
	фаза вы-хода в трубку	фаза выметывания (к)	фаза молочного состояния зерна		фаза вы-хода в трубку	фаза выметывания (к)	фаза молочного состояния зерна	
Суданская тра-ва (к)	38,1	47,6	57,8	47,9	0,47	0,51	0,58	0,52
Суданская трава + яровая вика	39,8	55,9	69,2	55,0	0,60	0,93	1,26	0,93
Суданская трава + озимая вика	41,4	54,4	74,3	56,7	0,62	0,93	1,38	0,97
Суданская трава + горох	40,8	64,2	83,3	62,8	0,60	1,07	1,56	1,08
Среднее (В)	40,0	55,5	71,2		0,57	0,86	1,19	
НСР ₀₅	главных эффектов		частных различий		главных эффектов		частных различий	
Фактор А	2,0		3,4		0,03		0,06	
Фактор В	1,3		2,5		0,02		0,05	

Прибавка сбора сырого протеина 0,29 т/га при уборке в фазе выметывания и 0,62 т/га при уборке в фазе молочного состояния зерна суданской травы достоверна при НСР₀₅ главных эффектов фактора В – 0,02 т/га. Сбор сырого протеина 1,56 т/га, отмеченный при уборке смеси суданской травы с горохом в фазе молочного состояния зерна, был наибольшим и существенно превышал данный показатель других агроценозов при уборке в той же фазе на 0,18-0,98 т/га (НСР₀₅ частных различий фактора В – 0,05 т/га).

Исследованием ботанического состава агроценозов выявлено, что видовой состав разнотравья в 2013-2015 гг. был в основном одинаковым (марь белая *Chenopodium album*, просо куриное *Echinochloa crusgalli*, подмаренник цепкий *Galium aparine*, василек синий *Centaurea cyanus*, осот желтый *Sonchys arvensis*, хвощ полевой *Equisetum arvense*). Наибольшая доля разнотравья (32%) была в одновидовых посевах суданской травы, что обусловлено относительно медленным развитием ее в начале вегетации и меньшей конкурентоспособностью.

Включение в агроценоз однолетних бобовых культур способствовало снижению доли разнотравья на 5-7% от общего количества (табл. 3). В среднем по вариантам опыта доля суданской травы в урожае составила 64%, бобовых культур – 24%, разнотравья – 12% от воздушно-сухой массы. В агроценозах суданской травы с бобовыми культурами отмечено снижение доли разнотравья на 4-6%. Наименьший процент разнотравья (10%) в соотношении компонентов агроценоза обеспечило возделывание суданской травы в смеси с горохом.

В ходе исследований был проведен анализ аминокислотного состава сухого вещества растений суданской травы, а также смеси суданской травы и гороха, как наиболее продуктивного из исследуемых вариантов. Известно, что белки являются более полноценными, если они сбалансированы по аминокислотному составу и содержат больше незаменимых аминокислот. В результате проведенного анализа в исследуемых образцах выявлено 14 аминокислот, в том числе 9 незаменимых (табл. 4).

Таблица 3 – Ботанический состав агроценозов суданской травы, %, 2013-2014 гг.

Вариант	Соотношение компонентов агроценоза					
	(количество)			(воздушно-сухая масса)		
	суданская трава	однолетние бобовые	разнотравье	суданская трава	однолетние бобовые	разнотравье
Суданская трава (к)	68	-	32	84	-	16
Суданская трава + яровая вика	47	27	25	56	32	12
Суданская трава + озимая вика	46	27	26	57	31	12
Суданская трава + горох	52	21	27	57	33	10
Среднее	53	19	28	64	24	12

Таблица 4 – Аминокислотный состав сухого вещества агроценозов суданской травы, % от сухого вещества, 2014-2015 гг.

Аминокислоты	Суданская трава	Суданская трава + горох
Аргинин	0,92	1,14
Лизин	0,47	0,64
Тирозин	0,26	0,29
Фенилаланин	0,44	0,44
Гистидин	0,23	0,16
Лейцин + изолейцин	1,04	1,18
Метионин	0,08	0,16
Валин	0,34	0,47
Пролин	1,20	1,08
Треонин	0,56	0,77
Серин	0,46	0,61
Аланин	0,64	0,67
Глицин	0,42	0,54
В т. ч. незаменимых	4,08	4,96

В сухом веществе смеси суданской травы и гороха отмечено повышение суммы незаменимых аминокислот на 0,88% (увеличивалось содержание аргинина, лизина, лейцина и изолейцина, метионина, валина и треонина), что указывает на более высокую биологическую ценность белка по сравнению с контрольным вариантом.

Вывод. По результатам проведенных исследований установлено, что при возделывании суданской травы Чишминская ранняя с зернобобовыми культурами увеличивается кормовая продуктивность: выход обменной энергии увеличился на 7,1-14,9 ГДж/га, сбор сырого протеина – на 0,41-0,56 т/га. За счет дополнительного накопления сухого вещества при уборке в фазе молочного состояния зерна суданской травы возрастает выход обменной энергии на 15,7-31,2 ГДж/га и сбор сырого протеина на 0,33-0,62 т/га относительно аналогичных показателей при уборке в период выхода в трубку – выметывания суданской травы. Определение аминокислотного состава образцов показало, что агроценоз суданской травы с горохом отличается более полноценным белком.

Список литературы

1. Аветисян, А.Т. Продуктивность малораспространенных кормовых культур в условиях Красноярской лесостепи / А.Т. Аветисян, В.Н. Романов, Е.А. Огиенко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 5. – С. 179-183.
2. Агафонов, В.А. Кормовая продуктивность однолетних культур в одновидовых и смешанных посевах в условиях Приангарья / В.А. Агафонов, Е.В. Бояркин, З.В. Козлова // Вестник Иркутской госу-

дарственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2014. – № 61. – С. 7-12.

3. Андрианова, Л.О. Приемы ухода за посевами и уборки проса в Среднем Предуралье: монография / Л.О. Андрианова, С.И. Коконов. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 132 с.

4. Баранова, В.В. Эффективность высокопродуктивных многокомпонентных смесей с бобовыми / В.В. Баранова, М.Т. Логуа, В.А. Малаев // Кормопроизводство. – 2003. – № 6. – С. 16-19.

5. Васин, А.В. Продуктивность зернобобовых культур при внесении удобрений на планируемую урожайность / А.В. Васин // Кормопроизводство. – 2014. – № 7. – С. 18-23.

6. Васин, В.Г. Урожай и качество зеленой и сенажной массы однолетних трав в поливидовых посевах / В.Г. Васин, А.В. Васин, О.П. Кожевникова // Актуальные вопросы агрономической науки в XXI веке: сборник научных трудов. – Самара, 2004. – С. 104-109.

7. Васин, В.Г. Влияние норм высева на продуктивность сортов нута / В.Г. Васин, В.В. Ракитина, Е.И. Макарова // Кормопроизводство. – 2014. – № 10. – С. 19-23.

8. ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. – М.: ФГУП Стандартинформ, 2014. – 23 с.

9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Дьяченко, В.В. Возделывание суданской травы в поликультуре на серых лесных почвах Нечерноземья / В.В. Дьяченко, А.В. Дронов, Т.М. Камовская // Кормопроизводство. – 2008. – № 3. – С. 16-18.

11. Казанцев, В.П. Создание высокопродуктивных травостоев однолетних трав в нечерноземной полосе Западной Сибири / В.П. Казанцев, Ю.П. Григорьев // Кормопроизводство. – 2008. – № 11. – С. 10-13.

12. Коконов, С.И. Приемы уборки проса на корм / С.И. Коконов, Л.О. Андрианова // Научное обеспечение инновационного развития АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию государственности Удмуртии. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – Т. 1. – С. 123-125.

13. Коконов, С.И. Продуктивность сортов проса в зависимости от способов уборки / С.И. Коконов, Л.О. Андрианова // Стратегия развития кормопроизводства в условиях глобального изменения климатических условий и использования достижений отечественной селекции: материалы Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2011. – Т. 1. – С. 296-298.

14. Коконов, С.И. Кормовая продуктивность суданской травы Чишминская ранняя в зависимости от глубины посева / С.И. Коконов, В.З. Латфуллин // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 4 (110). – С. 6-7.

15. Коконов, С.И. Реакция суданской травы Чишминская ранняя на способ посева и норму высева в Среднем Предуралье / С.И. Коконов, В.З. Латфуллин

// Аграрный вестник Урала. – 2014А. – № 3 (121). – С. 6-9.

16. Приемы посева суданской травы в Среднем Предуралье / С.И. Коконев, В.З. Латфуллин, И.Ш. Фатыхов [и др.] // Кормопроизводство. – 2014Б. – № 9. – С. 29-33.

17. Производство травянистых кормов в совместных посевах / Б.С. Лихачев, Н.В. Леонова, В.В. Осмоловский [и др.] // Кормопроизводство. – 2003. – № 4. – С. 16-20.

18. Мельниченко, Ю.М. Суданская трава в смешанных посевах / Ю.М. Мельниченко, В.И. Перегудов, А.А. Сысойкин // Кормопроизводство. – 2003. – № 6. – С. 21-23.

19. Насиев, Б.Н. Подбор одновидовых и смешанных посевов кормовых культур для адаптивного земледелия Западного Казахстана / Б.Н. Насиев // Кормопроизводство. – 2014. – № 3. – С. 35-38.

20. Романчук, Е.И. Сравнительная биологическая продуктивность и кормовые достоинства смешанных посевов однолетних бобово-злаковых культур в условиях Иркутской области / Е.И. Романчук, Ш.К. Хуснидинов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2014. – № 4. – С. 111-115.

21. Троц, В.Б. Кукуруза в совместных посевах на силос / В.Б. Троц, З.Ф. Сафаров // Растениеводство и земледелие. – 2014. – № 7. – С. 24-28.

22. Фатыхов, И.Ш. Научные системы земледелия Удмуртской Республики: практическое руководство в 4 кн. Кн.1. Почвенно-климатические условия. Системы обработки почвы / И.Ш. Фатыхов, Е.В. Корепанова. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2015. – 44 с.

Spisok literatury

1. Avetisjan, A.T. Produktivnost' malorasprostranennyh kormovyh kul'tur v uslovijah Krasnojarskoj lesostepi / A.T. Avetisjan, V.N. Romanov, E.A. Ogienko // Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 5. – С. 179-183.

2. Agafonov, V.A. Kormovaja produktivnost' odnoletnih kul'tur v odnovidovyh i smeshannyh posevah v uslovijah Priangar'ja / V.A. Agafonov, E.V. Bojarkin, Z.V. Kozlova // Vestnik Irkutskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii im. V.R. Filippova. – 2014. – № 61. – С. 7-12.

3. Andrianova, L.O. Priemy uhoda za posevami i uborki prosa v Srednem Predural'e: monografija / L.O. Andrianova, S.I. Kokonov. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2014. – 132 s.

4. Baranova, V.V. Jeffektivnost' vysokoproduktivnyh mnogokomponentnyh smesej s bobovymi / V.V. Baranova, M.T. Logua, V.A. Malaev // Kormoprodukcija. – 2003. – № 6. – С. 16-19.

5. Vasin, A.V. Produktivnost' zernobobovyh kul'tur pri vnesenii udobrenij na planiruemuju urozhajnost' / A.V. Vasin // Kormoprodukcija. – 2014. – № 7. – С. 18-23.

6. Vasin, V.G. Urozhaj i kachestvo zelenoj i senazhnoj massy odnoletnih trav v polividovyh posevah / V.G. Vasin, A.V. Vasin, O.P. Kozhevnikova // Aktual'nye voprosy agronomicheskoj nauki v XXI veke: sbornik nauchnyh trudov. – Samara, 2004. – С. 104-109.

7. Vasin, V.G. Vlijanie norm vyseva na produktivnost' sortov nuta / V.G. Vasin, V.V. Rakitina, E.I. Makarova // Kormoprodukcija. – 2014. – № 10. – С. 19-23.

8. GOST 32195-2013. Korma, kombikorma. Metod opredelenija soderzhanija aminokislot. – M.: FGUP Standartinform, 2014. – 23 s.

9. Dosphehov, B.A. Metodika polevogo opyta / B.A. Dosphehov. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

10. D'jachenko, V.V. Vozdelyvanie sudanskoj travy v polikul'ture na seryh lesnyh pochvah Nechernozem'ja / V.V. D'jachenko, A.V. Dronov, T.M. Kamovskaja // Kormoprodukcija. – 2008. – № 3. – С. 16-18.

11. Kazancev, V.P. Sozdanie vysokoproduktivnyh travostoev odnoletnih trav v nechernozemnoj polose Zapadnoj Sibiri / V.P. Kazancev, Ju.P. Grigor'ev // Kormoprodukcija. – 2008. – № 11. – С. 10-13.

12. Kokonov, S.I. Priemy uborki prosa na korm / S.I. Kokonov, L.O. Andrianova // Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitija APK: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju gosudarstvennosti Udmurtii. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2010. – Т. 1. – С. 123-125.

13. Kokonov, S.I. Produktivnost' sortov prosa v zavisimosti ot sposobov uborki / S.I. Kokonov, L.O. Andrianova // Strategija razvitija kormoprodukcija v uslovijah global'nogo izmenenija klimaticeskikh uslovij i ispol'zovanija dostizhenij otechestvennoj selekcii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Ekaterinburg: Izdatel'stvo AMB, 2011. – Т. 1. – С. 296-298.

14. Kokonov, S.I. Kormovaja produktivnost' sudanskoj travy Chishminskaja rannaja v zavisimosti ot glubiny poseva / S.I. Kokonov, V.Z. Latfullin // Agrarnyj vestnik Urala. – 2013. – № 4 (110). – С. 6-7.

15. Kokonov, S.I. Reakcija sudanskoj travy Chishminskaja rannaja na sposob poseva i normu vyseva v Srednem Predural'e / S.I. Kokonov, V.Z. Latfullin // Agrarnyj vestnik Urala. – 2014А. – № 3 (121). – С. 6-9.

16. Priemy poseva sudanskoj travy v Srednem Predural'e / S.I. Kokonov, V.Z. Latfullin, I.Sh. Fatyhov [i dr.] // Kormoprodukcija. – 2014Б. – № 9. – С. 29-33.

17. Производство травянистых кормов в совместных посевах / Б.С. Лихачев, Н.В. Леонова, В.В. Осмоловский [и др.] // Кормопроизводство. – 2003. – № 4. – С. 16-20.

18. Mel'nichenko, Ju.M. Sudanskaja trava v smeshannyh posevah / Ju.M. Mel'nichenko, V.I. Peregudov, A.A. Sysojkin // Kormoprodukcija. – 2003. – № 6. – С. 21-23.

19. Nasiev, B.N. Podbor odnovidovyh i smeshannyh posevov kormovyh kul'tur dlja adaptivnogo zemledelija Zapadnogo Kazahstana / B.N. Nasiev // Kormoprodukcija. – 2014. – № 3. – С. 35-38.

20. Romanчук, Е.И. Sravnitel'naja biologicheskaja produktivnost' i kormovye dostoinstva smeshannyh posevov odnoletnih bobovo-zlakovyh kul'tur v uslovijah Irkutskoj oblasti / Е.И. Romanчук, Sh.K. Husnidinov // Vestnik Burjatskoj gosudarstven-

noj sel'skohozejstvennoj akademii im. V.R. Filippova. – 2014. – № 4. – S. 111-115.

21. Troc, V.B. Kukuruzna v sovместnyh posevah na silos / V.B. Troc, Z.F. Safarov // Rastenievodstvo i zemledelie. – 2014. – № 7. – S. 24-28.

22. Fatyhov, I.Sh. Nauchnye sistemy zemledelija Udmurtskoj Respubliki: praktičeskoe rukovodstvo v 4 kn. Kn.1. Pochvenno-klimatičeskie uslovija. Sistemy obrabotki pochvy / I.Sh. Fatyhov, E.V. Korepanova. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaja GSHA, 2015. – 44 s.

Сведения об авторе:

Никитин Александр Александрович – аспирант кафедры растениеводства. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Кирова, 16, e-mail: aanikitin_0@mail.ru).

A.A. Nikitin

Izhevsk State Agricultural Academy

FEED CAPACITY AND AMINO ACID COMPOSITION OF DRY SUBSTANCE OF PURE AND MIXED SOWING OF SUDAN GRASS

The mixed sowing substantially improves not only the chemical composition but also the palatability and digestibility of feed nutrients. The investigations were carried out in the experimental crop rotation of the Plant Cultivation department in the instructional farm Iyul'skoe ISAA on sod-mesopodzol medium loamy soils with low and average content of humus, with weakly acidic and close to neutral pH_{KCP}, average and increased content of labile phosphorus, high and very high content of exchange potassium in 2013-2015. The aim of study was to determine the reasonable harvesting time of agrocoenoses of Sudan grass early Chishminsky for feeding purposes. In the experiment we studied the various agrocoenoses of Sudan grass (Sudan grass in pure sowing, Sudan grass + spring vetch, Sudan grass + winter vetch and Sudan grass + peas) and harvesting time (the shooting stage, the heading stage and the milk stage of Sudan grass grain). The presented results of long-term research proved the expediency of Sudan grass cultivation in mixture with grain legumes and later harvesting. In this case the herb proportion in the harvest reduces, crude protein grows (by 0.68-0.98 t / ha), as well as the largest feed capacity forms 69.2-83.3 GJ / ha. The analysis of amino acid composition revealed an increase in the amount of essential amino acids by 0.88% in dry substance of agrocoenosis of Sudan grass with peas.

Key words: Sudan grass; agrocoenosis; harvesting time; feed capacity; amino acid composition.

Author:

Nikitin Aleksandr Aleksandrovich – post-graduate student of Plant Cultivation Department. Izhevsk State Agricultural Academy (16, Kirov Street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: e-mail: aanikitin_0@mail.ru).

УДК 631.42:[631.445.24:631.472.71]

И.Ш. Фатыхов¹, Н.А. Бусоргина¹, В.Ф. Первушин¹, Ф.Р. Арсланов¹,
Г.П. Дзюин², А.Г. Дзюин²

¹ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;

²ФГБНУ Удмуртский НИИСХ

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПАХОТНОМ СЛОЕ ДЕРНОВО-СРЕДНЕПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЗВЕСТИ, НАВОЗА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В АСИЦ ВНИИМС имени Н.М. Федоровского масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (MS) и атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (AES) определено содержание 53 химических элементов и 8 оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы многолетнего полевого опыта в шестой ротации севооборота. Почвенные образцы отобраны в 2014 г. с пахотного слоя длительного полевого опыта, который заложен в 1971–1972 гг. на опытном поле ГНУ Удмуртский ГНИИСХ. Образцы были отобраны с вариантов: без удобрений, (NPK)₆₀ +навоз 40 т/га под первую ротацию севооборота, без удобрений + известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации севооборота, минеральные удобрения (NPK)₆₀ +известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации

севооборота. Относительно варианта без удобрений пахотный слой почвы в вариантах навоз (H^1) + минеральные удобрения ($НРК_{60}$), известь (I^2) без удобрений и известь (I^2) + минеральные удобрения ($НРК_{60}$) имел более высокое содержание элементов 1-го класса токсичности – цинка, мышьяка и кадмия, элементов 2-го класса токсичности – хрома, кобальта, никеля, меди и сурьмы, элементов 3-го класса токсичности – скандия, ванадия, стронция и бария. В соответствии с требованиями гигиенического норматива ГН 2.1.7.2041-06 только содержание мышьяка в пахотном слое почвы во всех вариантах опыта превышало ПДК. По содержанию оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой почвы разница по вариантам опыта относительно небольшая. В варианте (I^2) - известь без удобрений пахотный слой почвы имел больше оксида натрия, оксида алюминия, оксида калия, оксида кальция, оксида титана относительно аналогичных значений в других вариантах.

Ключевые слова: химические элементы; дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая почва; пахотный слой; известь; навоз; минеральные удобрения.

Актуальность. Общеизвестно, что систематическое применение минеральных удобрений изменяет химический состав пахотного слоя почвы. В Среднем Предуралье результаты исследований химического состава пахотного слоя дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почв при длительном применении минеральных удобрений изложены в работах И.Ш. Фатыхова [1], А.И. Кадыровой [2], Н.А. Бусоргиной [3].

В исследованиях И.Ш. Фатыхова с соавторами [1] в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы опытных участков обнаружено 53 химических элемента. Обеспеченность пахотного слоя данной почвы (мг/кг) валовым кобальтом (11) – средняя, цинком (67-73) – от средней до повышенной, медью (22-28) – средняя; содержание свинца (16) – среднее, никеля (29-33) – среднее, кадмия (0,11-0,33) – повышенное, хрома (60-63) – очень высокое, но при этом их содержание не превышает ПДК. Валовое содержание мышьяка в пахотном слое почвы в оба года исследования превышало допустимый уровень на 0,9-1,1 мг/кг при ПДК = 2,0 мг/кг [5].

И.Ш. Фатыхов [1] и Н.А. Бусоргина с соавторами [3, 4] установили, что в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении минеральных удобрений возросло содержание тяжелых металлов, но их концентрация, за исключением мышьяка, не превысила уровень ПДК [5]. В пахотном слое почвы увеличилось содержание ванадия на 8,5; хрома – 17,0; кобальта – 5,4; никеля – 10,2; меди – 7,0; цинка – 27,8; мышьяка – 1,27 мкг/г. Содержание мышьяка 4,67 мкг/г в варианте с длительным применением удобрений превышает требования гигиенического норматива ГН 2.1.7.2041-06 [5].

Цель исследований: определить содержание 53 химических элементов и 8 оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы многолетнего полевого опыта без внесения и при внесении извести, навоза и минеральных удобрений.

Задачи исследований:

1. Изучить химический состав пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы многолетнего полевого опыта в шестой ротации севооборота по 53 элементам и по 8 оксидам:

- без внесения извести, навоза и минеральных удобрений;
- при внесении извести, навоза и минеральных удобрений.

2. Выявить различия по содержанию химических элементов и оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы без внесения и при внесении извести, навоза и минеральных удобрений.

3. В соответствии с классом токсичности химических элементов установить соответствие их содержания в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы гигиеническим (экологическим) нормативам.

Материал, методы и условия проведения исследований. Для определения содержания химического состава дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы были взяты образцы с пахотного слоя длительного полевого опыта, который заложен в 1971-1972 гг. на опытном поле ГНУ Удмуртский ГНИИСХ [6]. Образцы отобраны в шестой ротации севооборота с вариантов: без удобрений, без удобрений + известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации севооборота, ($НРК_{60}$) + навоз 40 т/га под первую ротацию севооборота, ($НРК_{60}$) + известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации севооборота.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы перед закладкой опыта: гумус – 2,5%, pH_{KCl} – 5,0; Нг – 2,7; S – 14,8 ммоль/100 г почвы; V – 85,2%; P_2O_5 – 52; K_2O – 98 мг/кг почвы [6].

Содержание химических элементов в почве определено в аналитическом сертификационном испытательном центре (АСИЦ) Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ВИМС) масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (MS) и

атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (AES).

Результаты исследований. Пахотный слой дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы в исследуемых вариантах по содержанию химических элементов и оксидов имел различия (табл. 1 и 2).

В варианте $H^1 + (NPK)_{60}$ с внесением навоза и минеральных удобрений содержание в пахотном слое почвы элементов 1-го класса токсичности увеличилось: цинка – на 27,8 мкг/г, мышьяка – на 1,27 мкг/г, кадмия – на 0,07 мкг/г относительно аналогичных значений в вари-

анте без удобрений, но их концентрация, за исключением мышьяка, не достигала уровня ПДК. Содержание мышьяка 4,67 мкг/г превышало требования гигиенического норматива ГН 2.1.7.2041-06. [5]. Пахотный слой данного варианта имел больше элементов 2-го класса токсичности: хрома – на 17 мкг/г, кобальта – на 5,4 мкг/г, никеля – на 10,2 мкг/г, меди – на 7 мкг/г, сурьмы – на 0,11 мкг/г. Концентрация элементов 3-го класса токсичности также была более высокая: скандия – на 2,61 мкг/г, ванадия – на 8,5 мкг/г, стронция – на 18,1 мкг/г, бария – на 38,5 мкг/г.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы, мкг/г

Элемент (символ)	Вариант			
	без удобрений (К)	навоз (H^1) + (NPK) ₆₀	известь (I^2_2) без удобрений	известь (I^2_2) + (NPK) ₆₀
Элементы 1-го класса токсичности				
Цинк (Zn)	49,0	76,8	76,8	60,0
Мышьяк (As)	3,4	4,67	5,44	4,2
Селен (Se)	<0,8	<0,95	<0,95	<0,8
Кадмий (Cd)	0,24	0,31	0,29	0,29
Свинец (Pb)	14,0	13,6	13,7	15,0
Элементы 2-го класса токсичности				
Хром (Cr)	62,00	79,0	79,0	67,00
Кобальт (Co)	9,00	14,4	13,0	11,00
Никель (Ni)	30,00	40,2	41,8	32,00
Медь (Cu)	17,00	24,0	25,0	20,00
Молибден (Mo)	0,85	0,77	0,90	0,69
Сурьма (Sb)	0,74	0,85	0,83	0,82
Элементы 3-го класса токсичности				
Скандий (Sc)	5,9	8,51	8,94	6,3
Ванадий (V)	76,0	84,5	84,9	78
Стронций (Sr)	170,0	188,1	192,2	170
Барий (Ba)	420,0	458,5	458,2	380
Вольфрам (W)	1,2	1,18	1,18	1,1
Щелочные металлы				
Литий (Li)	16	22,2	22,1	17
Рубидий (Rb)	50	60,5	61,5	53
Цезий (Cs)	2,0	2,21	2,34	1,9
Щелочноземельные металлы				
Бериллий (Be)	0,67	1,17	1,18	0,74
Переходные металлы				
Иттрий (Y)	10	11,9	11,9	10
Цирконий (Zr)	190	242,4	252,8	190
Родий (Rh)	<0,01	<0,010	<0,010	<0,01
Ниобий (Nb)	12	11,8	12,2	13
Палладий (Pd)	<0,4	<0,40	<0,40	<0,4
Серебро (Ag)	<0,3	<0,30	<0,30	<0,3
Гафний (Hf)	3,2	3,92	4,07	3,0
Тантал (Ta)	0,91	0,57	0,61	0,79
Рений (Re)	<0,002	<0,0016	<0,0016	<0,002
Иридий (Ir)	<0,01	<0,0068	<0,0068	<0,01
Платина (Pt)	<0,03	<0,056	<0,056	<0,03
Золото (Au)	<0,05	<0,10	<0,10	<0,05

Элемент (символ)	Вариант			
	без удобрений (К)	навоз (Н ¹) + (НРК) ₆₀	известь (И ²) ₂ без удобрений	известь (И ²) ₂ + (НРК) ₆₀
Постпереходные металлы				
Галлий (Ga)	8,9	11,1	11,4	9,3
Олово (Sn)	1,2	1,61	1,77	1,6
Таллий (Tl)	0,31	0,29	0,31	0,30
Висмут (Bi)	0,13	0,14	0,14	0,13
Металлоиды				
Теллур (Te)	<0,04	<0,050	<0,050	<0,04
Редкоземельные элементы				
Лантан (La)	20	21,2	21,9	19
Церий (Ce)	44	47,6	49,1	43
Празеодим (Pr)	4,4	4,73	5,08	4,1
Неодим (Nd)	16	18,0	18,3	15
Самарий (Sm)	3,1	3,39	3,46	2,9
Европий (Eu)	0,71	0,73	0,76	0,68
Гадолиний (Gd)	2,6	2,81	3,04	2,4
Тербий (Tb)	0,40	0,43	0,44	0,39
Диспрозий (Dy)	2,2	2,34	2,40	2,1
Гольмий (Ho)	0,43	0,47	0,47	0,41
Эрбий (Er)	1,3	1,43	1,40	1,2
Тулий (Tm)	0,19	0,22	0,22	0,18
Иттербий (Yb)	1,3	1,47	1,49	1,2
Лютеций (Lu)	0,21	0,22	0,22	0,20
Торий (Th)	5,9	9,98	10,7	5,4
Уран (U)	1,5	1,41	1,48	1,5

Таблица 2 – Содержание оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы, % масс.

Элемент (символ)	Вариант			
	без удобрений (К)	навоз (Н ¹) + (НРК) ₆₀	известь (И ²) ₂ без удобрений	известь (И ²) ₂ + (НРК) ₆₀
Оксид натрия (Na ₂ O)	1,8	1,78	1,84	1,70
Оксид магния (MgO)	1,1	0,96	1,09	1,30
Оксид алюминия (Al ₂ O ₃)	9,9	10,3	10,6	10,00
Оксид калия (K ₂ O)	2,1	2,21	2,22	2,10
Оксид кальция (CaO)	1,0	1,01	1,21	1,10
Оксид титана (TiO ₂)	0,57	0,60	0,62	0,56
Оксид марганца (MnO)	0,11	0,15	0,13	0,14
Оксид железа (Fe ₂ O ₃)	3,7	3,50	3,61	3,80

В варианте (И²)₂ с внесением извести без удобрений среди химических элементов 1-го класса токсичности в пахотном слое почвы возросло содержание цинка на 27,8 мкг/г и мышьяка на 2,04 мкг/г. Во 2-м классе токсичности наблюдается большая концентрация хрома на 17 мкг/г, кобальта – на 4 мкг/г, никеля – на 11,8 мкг/г, меди – на 8 мкг/г относительно аналогичных значений в контрольном варианте без удобрений. Среди элементов 3-го класса токсичности проявилась аналогичная картина: возросло содержание скандия – 3,04 мкг/г, ванадия – 8,9 мкг/г, стронция – 22 мкг/г, бария – 38,3 мкг/г. При внесении извести пахотный

слой имел больше щелочных металлов: лития – на 6,2 мкг/г, рубидия – на 11,5 мкг/г, щелочноземельного металла бериллия – на 0,51 мкг/г. Концентрация переходных металлов также увеличилась: иттрия – на 1,9 мкг/г, циркония – на 62,8 мкг/г, гафния – на 0,87 мкг/г. Аналогичное происходило и среди постпереходных металлов: галлий – на 2,5 мкг/г, олово – на 0,57 мкг/г. В группе редкоземельных элементов большее содержание имели: лантан – на 1,9 мкг/г, церий – на 5,1 мкг/г, празеодим – на 0,68 мкг/г, неодим – на 2,3 мкг/г, самарий – на 0,36 мкг/г, гадолиний – на 0,44 мкг/г, торий – на 4,8 мкг/г. В данном варианте содержание мышьяка

(5,44 мкг/г) превышало в 2,72 раза требования гигиенического норматива [5].

По результатам исследований выявлено, что в варианте известь (I_2^2) + минеральные удобрения ($НРК_{60}$) содержание элементов 1-го класса токсичности также было более высоким: цинка – на 11 мкг/г, мышьяка – на 0,8 мкг/г. Концентрация мышьяка 4,2 мкг/г превышала в 2,1 раза требования гигиенического норматива [5]. Элементов 2-го класса токсичности (хром, кобальт, никель, медь) пахотный слой почвы данного варианта имел на 2,0 мкг/г больше относительно аналогичных значений в варианте без удобрений. Однако содержание элементов 1, 2-го и 3-го классов токсичности в пахотном слое почвы данного варианта было ниже, чем в пахотном слое вариантов (H^1) + ($НРК_{60}$) и (I_2^2) без удобрений. Относительно варианта без удобрений возросло содержание в пахотном слое почвы варианта (I_2^2) + ($НРК_{60}$) ванадия на 2,0; хрома – 5,0; кобальта – 2,0; никеля – 2,0; меди – 3,0; цинка – 11,0; мышьяка – 0,8; кадмия – 0,05; свинца – 1,0 мкг/г. Уменьшилось содержание молибдена на 0,16; цезия – 0,1; бария – 40,0; вольфрама – 0,1 мкг/г почвы. Количество бериллия, селена, стронция, иттрия, циркония, родия, палладия, серебра, теллура, европия, тербия, гольмия, тулия, лютеция, рения, иридия, платины, золота, таллия, висмута, урана в пахотном слое при внесении извести и минеральных удобрений не изменилось.

Содержание оксидов в пахотном слое дерново-среднеподзолистой почвы по вариантам опыта было разным, но различия по вариантам опыта были в абсолютных значениях относительно небольшими. В варианте (I_2^2) – известь без удобрений пахотный слой имел больше оксида натрия, оксида алюминия, оксида кальция, оксида титана относительно аналогичных показателей в других вариантах опыта.

Заключение. В длительном полевом опыте пахотный слой дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы в шестой ротации севооборота за 43 года в вариантах минеральные удобрения ($НРК_{60}$) + навоз 40 т/га под первую ротацию севооборота, без удобрений + известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации севооборота, минеральные удобрения ($НРК_{60}$) + известь по 1 + 2 г.к. под первую и вторую ротации севооборота содержал больше относительно пахотного слоя варианта без удобрений элементов 1-го класса токсичности – цинка, мышьяка и кадмия, элементов 2-го класса токсичности – хрома, кобальта, никеля, меди и сурьмы, элементов 3-го класса токсичности – скандия, ванадия, стронция и бария.

Концентрация всех элементов, за исключением мышьяка, не превысила ПДК. Валовое содержание мышьяка в пахотном слое почвы во всех вариантах опыта превышало в 1,70-2,72 раза гигиенический (экологический) норматив.

В варианте (I_2^2) – известь без удобрений пахотный слой почвы имел больше оксида натрия, оксида алюминия, оксида калия, оксида кальция, оксида титана.

Список литературы

1. Элементный состав пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы / И.Ш. Фатыхов, Е.В. Корепанова, В.Н. Гореева [и др.] // Эволюция и деградация почвенного покрова: сборник научных статей по материалам IV Международной конференции. – Ставрополь: АГРУС, 2015. – С. 124-128.

2. Кадырова, А.И. Элементный состав пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы / А.И. Кадырова, В.Г. Колесникова, И.Ш. Фатыхов // Эволюция и деградация почвенного покрова: сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Ставрополь: АГРУС, 2015. – С. 80-85.

3. Химический состав пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений / Н.А. Бусоргина, Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 4(34). – С. 107-110.

4. Влияние длительного применения минеральных удобрений на химический состав пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы / Н.А. Бусоргина, И.Ш. Фатыхов, О.А. Страдина [и др.] // Почва – национальное богатство. Пути повышения ее плодородия и улучшения экологического состояния: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ООО «Изд-во Союз оригинал», 2015. – С. 49-53.

5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06: [утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 19 января 2006 г.] [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – М.: Консультант Плюс, 2008.

6. Дзюин, А.Г. Эффективность систем удобрений в севообороте / А.Г. Дзюин // Материалы регионального совещания научных учреждений – участников Геосети Северо-Восточного и Уральского регионов «Состояние и пути повышения эффективности агрохимических исследований в Северо-Восточном и Уральском регионах» (г. Пермь, 3-5 июля 2013 г.). – М.: ВНИИА, 2013. – С. 18-25.

Spisok literatury

1. Jelementnyj sostav pahotnogo sloja dernovo-srednepodzolistoj srednesuglinistoj pochvy / I.Sh. Fatyhov, E.V. Korepanova, V.N. Goreeva [i dr.] // Jevoljucija i degradacija pochvennogo pokrova: sbornik nauchnyh

statej po materialam IY Mezhdunarodnoj konferencii. – Stavropol': AGRUS, 2015. – S. 124-128.

2. Kadyrova, A.I. Jelementnyj sostav pahotnogo sloja dernovo-srednepodzolistoj srednesuglinistoj pochvy / A.I. Kadyrova, V.G. Kolesnikova, I.Sh. Fatyhov // Jevoľucija i degradacija pochvennogo pokrova: sbornik nauchnyh statej po materialam Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii. – Stavropol': AGRUS, 2015. – S. 80-85.

3. Himičeskij sostav pahotnogo sloja dernovo-srednepodzolistoj srednesuglinistoj pochvy pri dlitel'nom primenenii udobrenij / N.A. Busorgina, G.P. Džjuin, A.G. Džjuin [i dr.] // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2014. – № 4(34). – S. 107-110.

4. Vlijanie dlitel'nogo primenenija mineral'nyh udobrenij na himičeskij sostav pahotnogo sloja dernovo-srednepodzolistoj srednesuglinistoj pochvy / N.A. Busorgina, I.Sh. Fatyhov, O.A. Stradina [i dr.] // Pochva –

nacional'noe bogatstvo. Puti povyšhenija ee plodorodija i uluchšhenija jekologičeskogo sostojanija: materialy Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii. – Izhevsk: OOO «Izd-vo Sojuz original», 2015. – S. 49-53.

5. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) veshhestv v pochve. Gigieničeskie normativy GN 2.1.7.2041-06: [utverždeny Federal'noj služhboj po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitelej i blagopoluchija čeloveka 19 janvarja 2006 g.] [Jelektronnyj resurs]: Jelektron. dan. – M.: Konsul'tant Pljus, 2008.

6. Džjuin, A.G. Jefferktivnost' sistem udobrenij v sevooborote / A.G. Džjuin // Materialy regional'nogo soveshhanija nauchnyh uchrezhdenij – učastnikov Geoseti Severo-Vostochnogo i Ural'skogo regionov «Sostojanie i puti povyšhenija jefferktivnosti agrohimičeskikh issledovanij v Severo-Vostochnom i Ural'skom regionah» (g. Perm', 3-5 ijulja 2013g.). – M.: VNIIA, 2013. – S. 18-25.

Сведения об авторах

Фатыхов Ильдус Шамилович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по НИР.

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: nir210@mail.ru).

Бусоргина Нина Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесостроительства и экологии. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: nir210@mail.ru).

Первушин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: nir210@mail.ru).

Арсланов Фанис Рашидович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: nir210@mail.ru).

Дзюин Герцен Петрович – ведущий научный сотрудник. Удмуртский государственный научно-исследовательский институт сельского хозяйства (427007, Российская Федерация, Удмуртия, Завьяловский район, с. Первомайское, ул. Ленина, 1).

Дзюин Алексей Герценович – ведущий научный сотрудник. Удмуртский государственный научно-исследовательский институт сельского хозяйства (427007, Российская Федерация, Удмуртия, Завьяловский район, с. Первомайское, ул. Ленина, 1).

I.Sh. Fatykhov¹, N.A. Busorgina¹, V.F. Pervushin¹, F.R. Arslanov¹, G.P. Džjuin², A.G. Džjuin²

¹Izhevsk State Agricultural Academy;

²Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture

CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE ARABLE LAYER OF SOD MESOPODZOL MEDIUM LOAMY SOIL WITH THE APPLICATION OF LIME, MANURE AND MINERAL FERTILIZERS

The content of 53 chemical elements and 8 oxides was determined in the arable layer of sod mesopodzol medium-loamy soil of long-term field experiment in the sixth crop rotation cycle by mass spectral method with inductively coupled plasma (MS) and atomic emission method with inductively coupled plasma (AES) in Analytical Certification Testing Center of All-Russian Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky. The soil samples were taken from the arable layer of long-term field experiment in 2014, which was founded in the experimental field of Udmurt State Agricultural Research Institute in 1971 - 1972. The samples were selected from variants: without fertilizers, (NPK)₆₀ + manure 40 t / ha for the first crop rotation, without fertilizer +lime on 1 + 2 GK for the first and second crop rotation cycles, mineral fertilizers (NPK)₆₀ + lime 1 + 2 GK for the first and second crop rotation cycles. Regarding the variant without fertilizers the arable layer in the variants of manure (H¹) + mineral fertilizers (NPK)₆₀, lime (P₂) without fertilizer and lime (P₂) + mineral fertilizers (NPK)₆₀ had a higher content of elements of the 1st class of toxicity - zinc, arsenic and cadmium, the 2nd class of toxicity elements - chromium, cobalt, nickel, copper and antimony, the 3rd class of toxicity elements - scandium, vanadium, strontium, and barium. In accordance with the requirements of hygienic standards GN 2.1.7.2041-06 only the arsenic content in the arable layer in all experimental variants exceeded the MPC. The content of oxides in the arable layer of sod

medium podzolic soils slightly differs in all variants of the experiment. The arable soil layer in the variant (P_2) - lime without fertilizers had more sodium oxide, aluminum oxide, potassium oxide, calcium oxide, titanium oxide regarding the similar values in other variants.

Key words: *chemical elements; sod mesopodzol medium-loamy soil; arable layer; lime; manure; mineral fertilizers.*

Authors:

Fatykhov Ildus Shamilevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice – rector for Research. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: nir210@mail.ru).

Busorgina Nina Alexandrovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology and Forest Management Department. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: nir210@mail.ru).

Pervushin Vladimir Fedorovich – Doctor of Tehnical Sciences, Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: nir210@mail.ru).

Arslanov Fanis Rashidovich – Candidate of Tehnical Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: nir210@mail.ru).

Dzyuin Gerzen Petrovich – leading Research Scientist. Udmurt State Scientific Research Institute of Agriculture (1, Lenin street, Pervomayskoe, Zavyalovsky district, Udmurt Republic, Russian Federation, 427007).

Dzyuin Aleksey Gertsenovich – leading Research Scientist. Udmurt State Scientific Research Institute of Agriculture (1, Lenin street, Pervomayskoe, Zavyalovsky district, Udmurt Republic, Russian Federation, 427007).

УДК 577.3

Г.В. Ломаев, М.С. Емельянова

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

ИЗМЕНЕНИЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ БИОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ГИПОГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРИМЕРАХ *G.GALLUS*, *APIS MELLIFERA C.*, *CUCURBITA M.*

*Геомагнитное поле является важным экологическим фактором для жизнедеятельности живой природы. В данной работе установлен глобальный характер магнитного поля для биологических объектов. В лаборатории биофизики и экологии ИжГТУ имени М.Т. Калашникова нами проведены эксперименты по изучению влияния гипогеомагнитного поля на различные биологические объекты (птицы, пчелы, растения, рыбы и др.). Цель исследования: изучение влияния ослабленного геомагнитного поля на онтогенез биологических объектов на примерах *G. Gallus*, *Apis Mellifera C.*, *Cucurbita M.* Основным объектом – эмбрионы *G. Gallus*. Личинки *Apis Mellifera C.* и семена *Cucurbita M.* служили вспомогательным, но очень важным материалом для подтверждения всеобъемлющего характера проблемы. Определено, что эффекты воздействия ослабленного магнитного поля на изменения физиологического состояния биологического объекта зависят от уровня его ослабления. Установлено, что ослабление магнитного поля Земли более чем в два раза является критическим уровнем, на котором становятся заметны морфологические и структурные изменения в эмбриогенезе биообъекта (на примере личинок *Apis Mellifera C.*, эмбрионов *G. Gallus*, семян *C. taxita*). Личинки *Apis Mellifera C.* и семена *C. taxita*, имеющие отличный от эмбрионов *G. Gallus* уровень биологической сложности, проявляют идентичную реакцию на ослабление геомагнитного поля, что дает возможность говорить о существовании схожих механизмов магнитовосприимчивости данных биообъектов. Результаты могут быть использованы на птицефабриках при анализе магнитопатогенных зон и их устранении. Можно рекомендовать допустимый уровень гипогеомагнитного поля в промышленных помещениях, где находятся биообъекты на начальных стадиях онтогенеза, равный половине поля Земли.*

Ключевые слова: *гипогеомагнитное поле; магнитобиология; онтогенез биологических объектов; личинки пчел; эмбрионы цыплят.*

Введение. Влияние вариаций геомагнитного поля (ГМП) на биосистемы различного уровня организации хорошо известны

исследователям-экспериментаторам. Эксперименты, как правило, состоят в наблюдении связи между характеристиками внешнего маг-

нитного поля (МП) и вызванными им биологическими откликами. Причинно-следственную связь биологических эффектов слабых МП проследить очень сложно, так как она затрагивает глубинные слои организации биосистемы. Механизмы влияния до сих пор неизвестны.

Обнаружено отрицательное влияние ослабленного МП Земли (гипогеомагнитное поле – ГГМП) на человека. Впервые об этом заговорили специалисты по космической медицине. Они установили корреляцию между сроками нахождения космонавтов в космосе и возникающими у них заболеваниями. Заметим, что поле Земли на высоте орбиты космического корабля в 5-10 раз меньше, чем на поверхности.

Цель работы: изучение влияния ГГМП с разной степенью ослабления на онтогенез биосистем разного уровня биологической сложности на примерах *G.Gallus*, *Apis Mellifera C.*, *Cucurbita M.*

Материал и методы. В лаборатории биофизики и экологии [1, 2] ИжГТУ имени М.Т. Калашникова нами проведены эксперименты по изучению влияния ГГМП на различные биологические объекты (птицы, пчелы, растения, рыбы и др.). Основной объект – эмбрионы *G.Gallus*. Личинки *Apis Mellifera C.* и семена *Cucurbita M.* служили вспомогательным, но очень важным материалом для подтверждения всеобъемлющего характера проблемы. Методика создания ГГМП описана в наших публикациях [3, 4].

Основным биологическим объектом выбраны эмбрионы *Gallus gallus* (инкубационное яйцо, произведенное в ООО «Птицефабрика «Вараксино», от кур кросса Ломан Браун Классик). Кроме того, исследованы личинки пчел *Apis Mellifera Carpathica* в возрасте от предкуколки до имаго (печатный расплод), семена тыквы *Cucurbita maxima*.

В каждой серии экспериментов формировались контрольная (находится в естественном МП Земли) и опытная (располагается в ГГМП) группы. ГГМП имело степень ослабления от естественного уровня в г. Ижевске 50 мкТ до нуля.

Микроклимат для развития эмбрионов *Gallus gallus* и личинок *Apis Mellifera Carpathica* обеспечивался лабораторным инкубатором.

В опыте с *G. gallus* поверхность скорлупы проверяли на целостность, гладкость, матовость, чистоту и однородность. В течение инкубационного периода в контрольные дни (на 7, 11, 18-е сутки) яйца взвешивали, просвечивали их на овоскопе для определения величины воздушной камеры, проводили забор крови для клинического анализа.

В первые сутки после вывода отбирали по 10 цыплят из каждой группы для анализа интэрьерных показателей и патологоанатомического исследования органов по методикам, изложенным в статье [4].

Для проведения эксперимента с *Apis Mellifera C.* брали из улья печатный расплод на стадии предкуколок и куколок, соты с расплодом делили на две идентичные части для размещения в контрольном и опытном инкубаторах. Влажность воздуха поддерживалась на уровне 87–93%, температура – 34–35°C. Регистрировали следующие параметры: количество вышедших из ячеек пчел (стадия имаго, ежедневно) и количество запечатанных ячеек на первый и заключительный дни эксперимента.

В эксперименте с *Cucurbita maxima* брали 160 семян по 40 штук для трех уровней ГГМП. Семена проращивали в чашках Петри по стандартной методике при комнатной температуре (18–25°C). На дно чашки выкладывается 2 слоя фильтровальной бумаги, увлажненной дистиллированной водой с помощью мерной пипетки. Эксперимент длился 10 суток. Фиксировали количество проросших семян, скорость прорастания и длину ростков, антиоксидантную активность (АОА) и активность каталазы образцов.

Антиоксидантную активность определяли по способности проб биоматериала ингибировать аутоокисление адреналина и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода [5]. Скорость реакции оценивали с помощью прибора спектрофотометра (марка ПромЭкоЛаб ПЭ-5400В/ПЭ-5400УФ) по величине оптической плотности накапливающегося продукта аутоокисления адреналина, который имеет максимум поглощения при длине волны 347 нм, образующегося в отсутствие и присутствии исследуемых проб.

Антиоксидантную активность (АОА) выражали в процентах ингибирования аутоокисления адреналина [5]. Величина АОА более 10% свидетельствует о наличии антиоксидантной активности. Активность каталазы определяли газометрическим методом [6].

Результаты и их обсуждение. На начальном этапе развитие эмбриона в опытном яйце характеризовалось показателями, схожими с контрольными. Отличие заключалось в разнице потери массы яиц по периодам инкубации (рис. 1).

Потеря массы яйца негативно сказывается на развитии эмбриона, в частности, на потреблении им веществ, необходимых для жизнедеятельности, из питательной среды яйца.

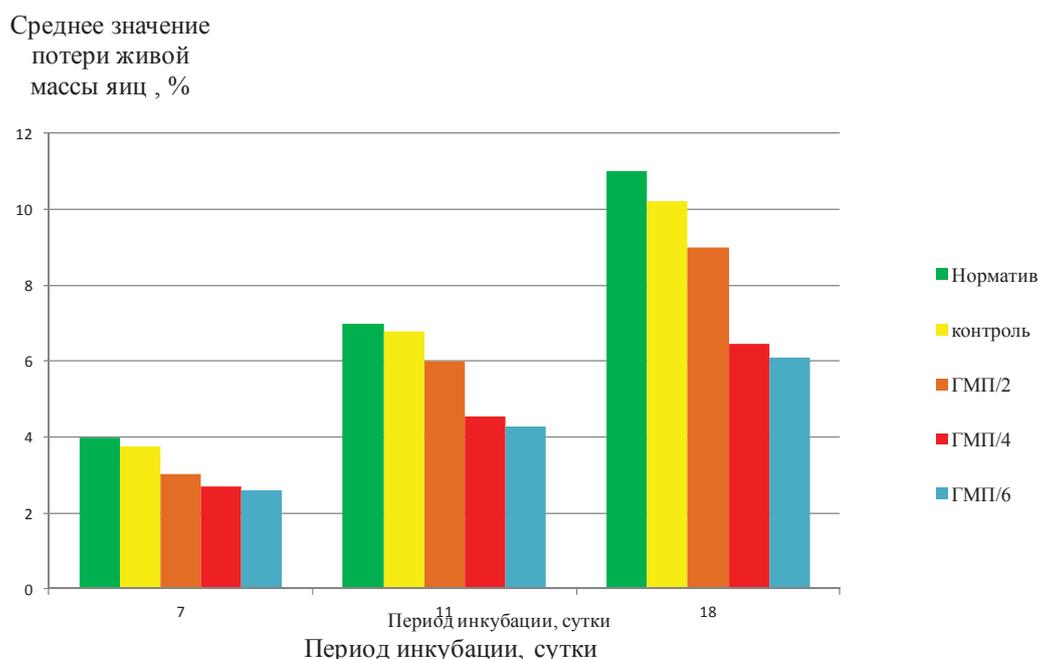


Рисунок 1 – Гистограмма средней потери массы яиц на 7, 11, 18-е сутки от начала инкубации: норматив – нормативные показатели потери массы яиц по контрольным дням; контроль – контрольная группа, находящаяся в естественном МП Земли (Ижевск – 43,5 А/м); ГМП/2 – МП Земли, ослабленное в 2 раза; ГМП/4 – МП Земли, ослабленное в 4 раза; ГМП/6 – МП Земли, ослабленное в 6 раз

Количество проклюнувшихся цыплят в опытных инкубаторах значительно меньше, чем в контрольном. Так, например, в инкубаторе с ослаблением МП в 6 раз относительно поля Земли процент вылупившихся цыплят составил 33%. Гипогеомагнитные поля оказали угнетающее воздействие на развитие внутренних органов цыплят (табл. 1).

В опытных группах количество остаточного желтка значительно больше в сравнении с контрольной группой (на 11,8%, 17,9% и 20,4% соответственно), что свидетельствует о худшем потреблении питательных веществ.

Патологоанатомическое исследование объектов показало увеличение размеров сердца и печени во всех опытных группах относительно контрольной, а также воспаление печени, с серовато-белыми очажками некроза, переполнение желчного пузыря желчью, очаги некроза в сердце, легких, воспаление слизистой оболочки кишечника, недоразвитость фабрициевой сумки, перозис и воспаление суставной сумки.

Морфология внешнего вида опытных групп описывается такими особенностями, как эмбриональная липкость оперения, воспаление коленного сустава, отсутствие первичных инстинктов.

Гематологические показатели крови эмбрионов контрольной группы находились в пределах физиологической нормы, а показатели крови эмбрионов в опытных группах значительно отличались от нее (табл. 2).

Исследования показали, что кровь эмбрионов изменяется в зависимости от уровня ослабления магнитного поля Земли: чем сильнее ослабление, тем ниже значение рассматриваемого параметра крови. Наиболее близкими к контрольным значениям являются параметры крови эмбрионов, находившихся в ослабленном в два раза МП относительно МП Земли. Кровь эмбрионов из опытных групп № 2, 3 (ослабление поля в 4 и 6 раз соответственно) характеризуется более низкими показателями рассматриваемых значений.

Таблица 1 – Интерьерные показатели суточных цыплят, г (M±m, n=10)

Показатели	Контроль	ГМП/2 (опыт №1)	ГМП/4 (опыт №2)	ГМП/6 (опыт №3)
Масса цыпленка	44,81±1,69	43,77±1,61	42,09±1,89	43,68±1,43
Желточный мешок	4,65±0,30	5,27±0,08	5,67±0,31	5,84±0,25
Печень	1,12±0,06	1,27±0,06	1,37±0,04	1,44±0,05
Сердце	0,19±0,03	0,23±0,02	0,28±0,02	0,35±0,02
Мышечный желудок	2,04±0,09	1,80±0,07	1,74±0,10	1,61±0,05
Фабрициева сумка	0,09±0,01	0,06±0,01	0,06±0,01	0,05±0,01

Таблица 2 – Гематологические показатели крови эмбрионов по контрольным дням

Показатели	День инкубации	Контроль	Нз/2	Нз /4	Нз /6
Лейкоциты WBC, 10 ⁹ /L	7	12,6	11,6	10,6	9,1
	11	65,5	43,3	33,3	31
	18	48,6	37,7	32,3	30,6
Эритроциты RBC, 10 ¹² /L	7	0,21	0,19	0,17	0,17
	11	0,27	0,25	0,18	0,16
	18	0,35	0,33	0,24	0,24
Гемоглобин HGB, g/l	7	51	37	35	23
	11	53	28	25	18
	18	65	33	19	19
Гематокрит HCT,%	7	4,5	3,8	3,6	3,2
	11	4,8	3,9	3,8	3,4
	18	5,6	3,6	3,7	3,2

Количество лейкоцитов в крови особенно интенсивно нарастало с 7-х по 11-е сутки. За этот период времени в контрольной группе данный показатель увеличился в 5 раз, а в опытных – в среднем в 3 раза. Затем к 18-м контрольным суткам наблюдалось некоторое снижение содержания клеток белой крови, причем в контроле и опыте № 1 данный процесс был более выражен относительно двух других опытных групп.

Концентрация эритроцитов в крови значительно увеличилась лишь в двух группах: контрольной и первой опытной.

Клетки красной крови эмбрионов высокофункциональны из-за необходимости обеспечения высоких темпов роста. В связи с этим концентрация гемоглобина должна находиться на высоком уровне в крови эмбрионов изучаемых групп. Но заметно растет данный показатель лишь в контрольной группе. Так, в опытных группах идет значительное снижение уровня гемоглобина в крови эмбрионов и, как следствие, снижается гематокрит.

Согласно примененной методике антиоксидантная активность не может быть определена прямым способом. Она рассчитывается как относительная величина путем расчета соотношения экстинкций при некотором времени протекания реакции, то есть времени экспозиции. В проведенном исследовании реакцию аутоокисления адреналина наблюдали в течение 10 минут, измеряя оптическую плотность через каждые 30 секунд. Такое время экспозиции выбрано в связи с высокой интенсивностью образования продукта окисления адреналина в этот промежуток времени.

Расчет АОА показал, что исследуемые пробы биологического материала фабрициевой сумки, печени, желудка и желточного мешка эмбрионов *G. gallus* проявляют антиоксидантную активность (рис. 2). Наименьшее ее значение достигается в образцах с ослаблением МП

в два раза, а наибольшее – в контрольных образцах, находящихся в МП Земли.

Единственный образец (биоматериал сердечной мышцы) в опыте с ослаблением МП в 6 раз проявил прооксидантную активность, начиная от 90 до 120 секунд от начала эксперимента, а также со времени экспозиции 270 секунд и до завершения эксперимента (рис. 3, б). Этот же образец показал наименьшую АОА (рис. 3, а).

Одним из значимых показателей интенсивности обмена веществ является активность каталазы. Наибольшую активность данного фермента проявили пробы из инкубатора с ослабленным в 2 раза МП (рис. 4).

Дальнейшее ослабление поля ведет к снижению активности каталазы, но норма не достигается. Несколько иную реакцию проявляют образцы биоматериала желточного мешка и печени (с ослаблением МП в 2 и 6 раз соответственно), активность фермента в них значительно ниже по сравнению с контролем.

Несмотря на это, можно выявить общую закономерность: с ослаблением МП в 2 раза активность каталазы в пробах резко возрастает, с дальнейшим ослаблением МП активность фермента постепенно снижается, но остается несколько выше, чем в контрольных образцах.

В исследовании влияния ГГМП на эмбриогенез эксперимент с *Apis Mellifera C.* показал равномерную динамику выхода пчел из ячеек в контрольной группе. В опытной группе количество молодых пчел, вышедших из ячеек после шестых суток от момента закладки эксперимента, значительно меньше, чем в предыдущие дни.

Данные таблицы 3 говорят о том, что общее количество запечатанных ячеек (невышедших пчел) на заключительный день эксперимента в опытной группе более чем в два раза превышает количество запечатанных ячеек в контроле.

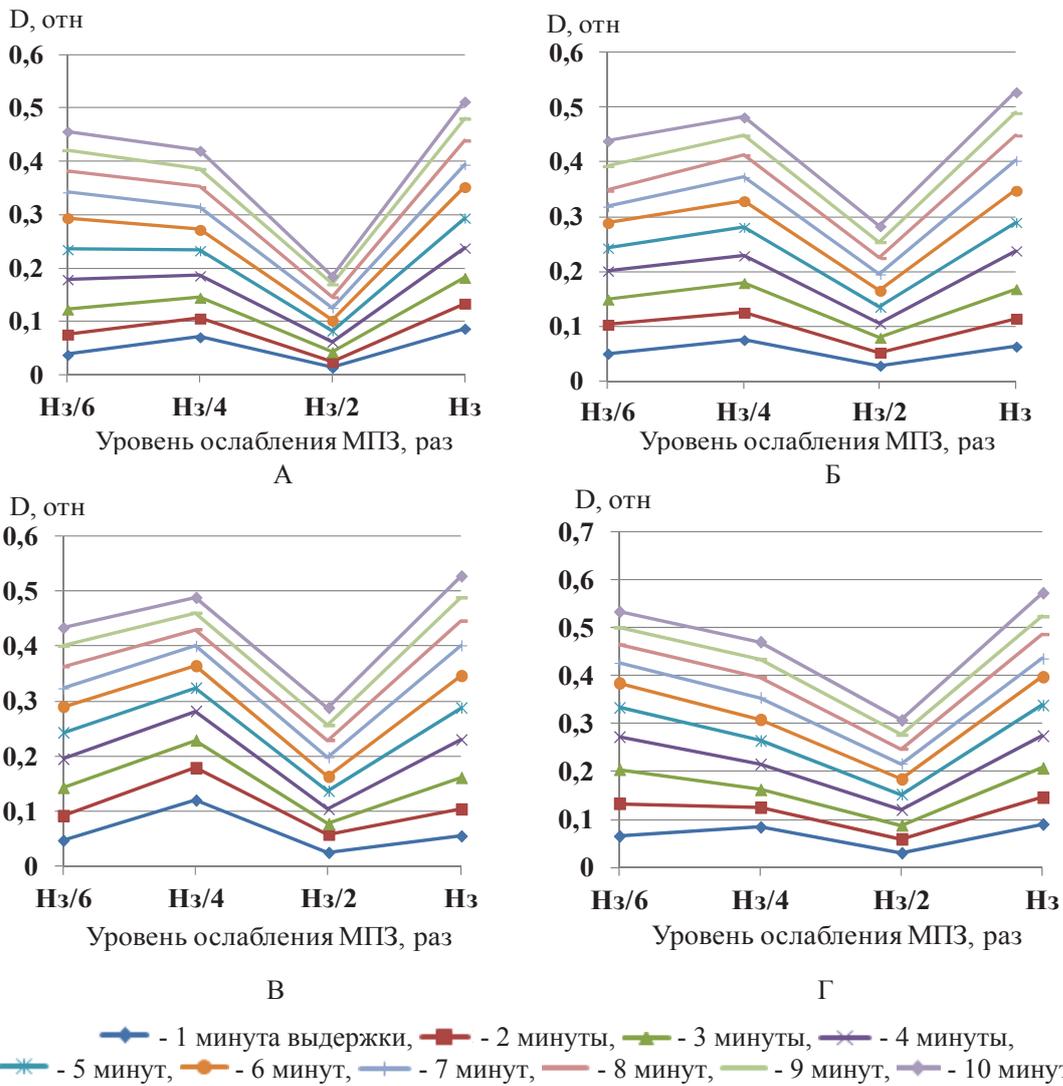


Рисунок 2 – Зависимость оптической плотности (D) биоматериала от уровня ослабления МПЗ при различном времени экспозиции: А – фабрициева сумка, Б – печень, В – желудок, Г – желточный мешок

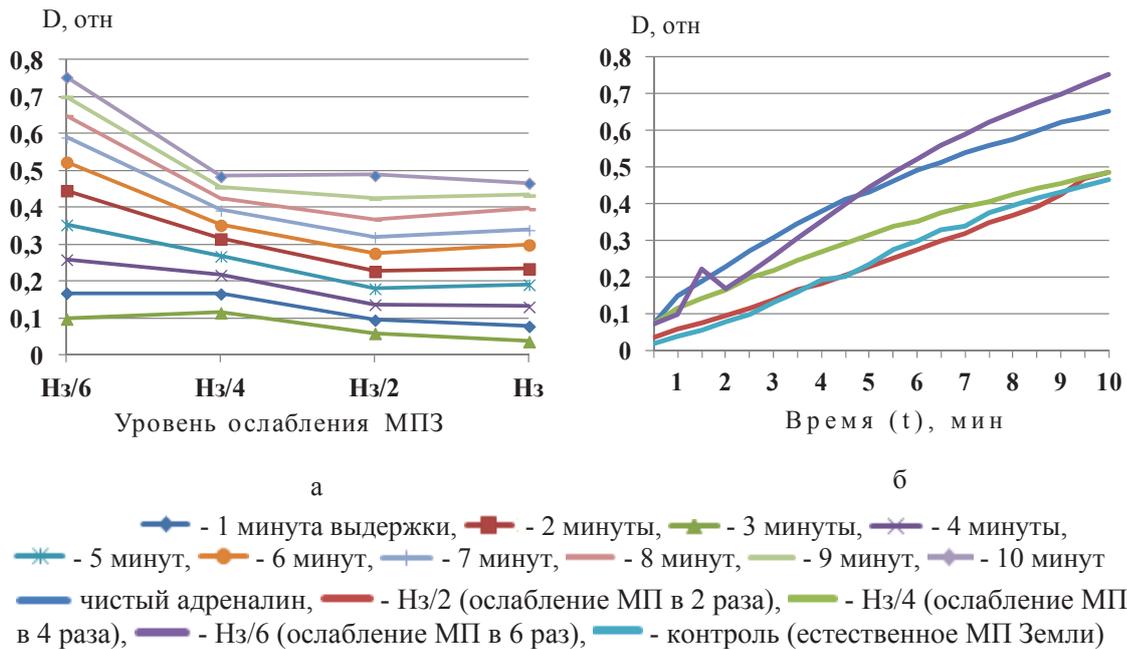


Рисунок 3 – Зависимость оптической плотности (D) раствора в присутствии биоматериала сердца: а – зависимость D от уровня ослабления МПЗ; б – зависимость D от времени реакции аутоокисления адреналина (t)

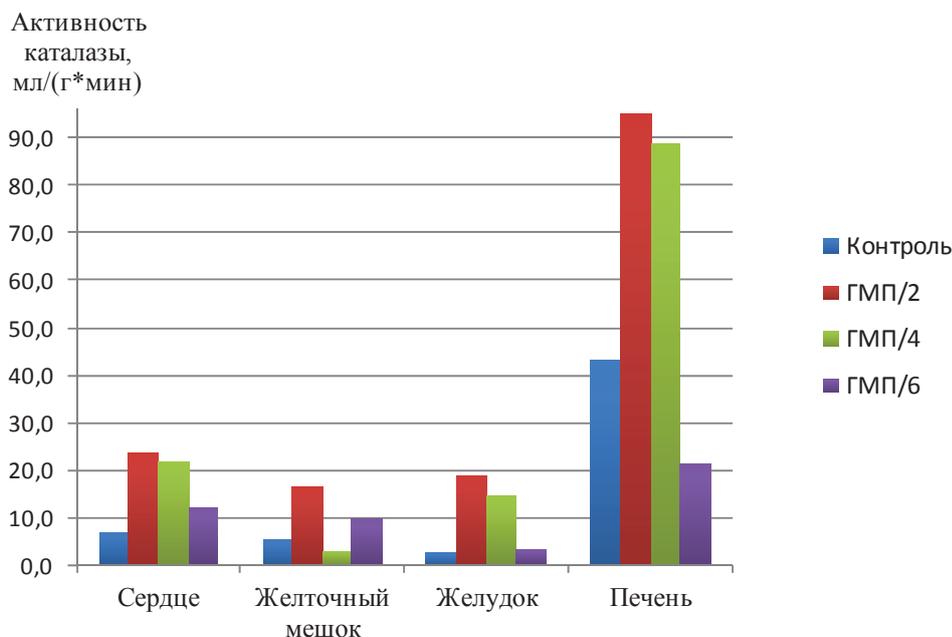


Рисунок 4 – Динамика активности каталазы

Таблица 3 – Количество печатного расплода (не вышедших пчел) на конец эксперимента

Контрольный инкубатор		Опытный инкубатор	
контрольная рамка № 1	контрольная рамка № 2	опытная рамка № 1	опытная рамка № 2
150	48	260	203
Итого: 198		Итого: 463	

Морфологический анализ показал, что молодые пчелы опытной группы характеризуются более темной окраской тельца, что обусловлено практически полным отсутствием волосяного покрова, а также более агрессивным по сравнению с контролем поведением.

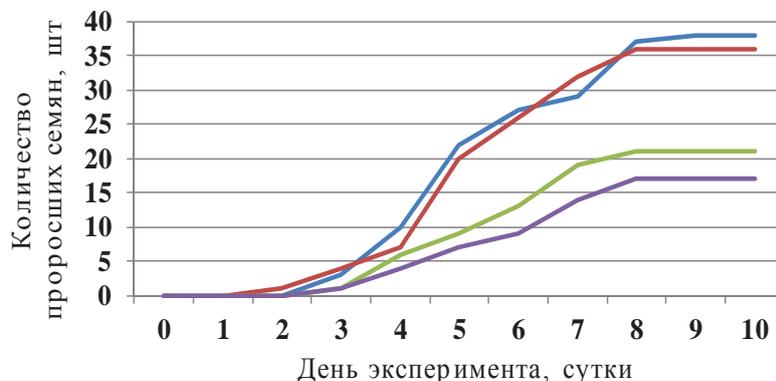
Анализ особей, оставшихся в нераспечатанных ячейках, выявил динамику угнетения на

разных стадиях онтогенеза (от 11-го до 20-го дня развития предкуколки).

Полученные результаты позволяют предположить, что гипогомагнитное поле увеличивает возможность появления нарушений на стадии онтогенеза от предкуколки до имаго. Уровень магнитного поля Земли является значимым экологическим фактором жизнедеятельности пчелы.

В эксперименте с семенами *S. taxa* наибольшее количество проросших семян ($\approx 90-95\%$) и скорость прорастания (рис. 5) показали контрольные образцы и образцы с ослаблением МП в два раза.

Также образцы из данных экспериментальных групп нарастили большую зеленую биомассу по сравнению с другими образцами, находящимися в МП, ослабленном до 4 и 6 раз относительно ГМП.



— H_3 - контрольная группа, находящаяся в естественном МП Земли; — $H_3/2$ - МП Земли, ослабленное в 2 раза; — $H_3/4$ - МП Земли, ослабленное в 4 раза; — $H_3/6$ - МП Земли, ослабленное в 6 раз

Рисунок 5 – Скорость прорастания семян *S. taxa* в зависимости от ослабления МПЗ

Выводы:

1. Определено, что воздействие ГГМП на физиологическое состояние биообъекта зависит от уровня ослабления МП Земли. Ослабленное МП угнетает онтогенез, начиная с самых ранних сроков развития, что отражается как на количественных, так и на качественных показателях жизнеспособности биообъекта.

2. Установлено, что ослабление МП Земли более чем в два раза является критическим уровнем, на котором становятся заметны морфологические и структурные изменения в эмбриогенезе биообъекта (на примере личинок *Apis Mellifera C.*, эмбрионов *G. gallus*, семян *C. maxima*).

3. Морфологические и гематологические показатели эмбрионов *G. gallus* опытной группы с ослаблением поля в два раза относительно ГМП наиболее близки к контрольным. Во всех образцах, участвовавших в эксперименте, наблюдается ярко выраженный антиоксидантный эффект, максимум которого приходится на контрольные образцы, а наименьшее его значение – на опытные образцы с ослаблением МП в два раза.

4. Установлено, что личинки *Apis Mellifera C.* и семена *C. maxima*, имеющие отличный от эмбрионов *G. gallus* уровень биологической сложности, проявляют идентичную с ними реакцию на ослабление ГМП, что дает возможность говорить о существовании схожих механизмов магнитовосприимчивости данных биообъектов.

5. Можно рекомендовать допустимый уровень ГГМП в промышленных помещениях, где находятся биообъекты на начальных стадиях онтогенеза, равный половине поля Земли (в зоне Ижевска – не менее 25 мкТ).

Список литературы

1. Учебно-исследовательская лаборатория электромагнитной экологии / Г.В. Ломаев, Н.В. Козловская, Ю.Б. Камалова [и др.] // Сборник статей IX Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 606–609.

2. Учебно-исследовательская лаборатория биофизики и электромагнитной экологии / Г.В. Ломаев,

Н.В. Козловская, Д.С. Кулешова [и др.] // Магнитные явления: сб. статей / под ред. проф. Г.В. Ломаева. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012. – № 4. – С. 140–153.

3. Методика сокращения продолжительности магнитобиологических опытов в гипогеомагнитных полях с *G. Gallus* / Г.В. Ломаев, М.С. Емельянова, А.С. Соловьева [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 2 (26). – С. 102–106.

4. Ломаев, Г.В. Фактор влияния вариаций магнитного поля Земли на эмбриональное развитие *G. gallus* / Г.В. Ломаев, М.С. Емельянова // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1 (23). – С. 127–131.

5. Пат. 2144674 Рос. Федерация. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений / Т.В.Сирота: № 9910319214; опубл. 20.01.2000.

6. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1: учеб. пособие / Мар. гос. ун-т; О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева, М.Г. Половникова. – Йошкар-Ола, 2006. – 107 с.

Spisok literatury

1. Uchebno-issledovatel'skaja laboratorija jelektromagnitnoj jekologii / G.V. Lomaev, N.V. Kozlovskaja, Ju.B. Kamalova [i dr.] // Sbornik statej IX Mezhdunarodnogo simpoziuma po jelektromagnitnoj sovmestimosti i jelektromagnitnoj jekologii. – SPb.: Izd-vo Politehn. unta, 2011. – S. 606–609.

2. Uchebno-issledovatel'skaja laboratorija biofiziki i jelektromagnitnoj jekologii / G.V. Lomaev, N.V. Kozlovskaja, D.S. Kuleshova [i dr.] // Magnitnye javlenija: sb. statej / pod red. prof. G.V. Lomaeva. – Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2012. – № 4. – S. 140–153.

3. Metodika sokrashhenija prodolzhitel'nosti magnetobiologicheskikh opytov v gipogeo-magnitnyh poljah s *G. Gallus* / G.V. Lomaev, M.S. Emel'janova, A.S. Solov'eva [i dr.] // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. – 2015. – № 2 (26). – S. 102–106.

4. Lomaev, G.V. Faktor vlijanie variacij magnitnogo polja Zemli na jembrional'noe razvitie *G. gallus* / G.V. Lomaev, M.S. Emel'janova // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. – 2014. – № 1 (23). – S. 127–131.

5. Pat. 2144674 Ros. Federacija. Sposob opredelenija antioksidantnoj aktivnosti superoksiddismutazy i himicheskikh soedinenij / T.V.Sirota: № 9910319214; opubl. 20.01.2000.

6. Bol'shoj praktikum po biojekologii. Ch. 1: ucheb. posobie / Mar. gos. un-t; O.L. Voskresenskaja, E.A. Aljabyшева, M.G. Polovnikova. – Joshkar-Ola, 2006. – 107 s.

Сведения об авторах:

Ломаев Гелий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики». ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая 7, e-mail: Lomaevgv1@mail.ru).

Емельянова Мария Сергеевна – ассистент кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики». ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая 7, e-mail: ems1988@mail.ru).

G.V. Lomaev, M.S. Emel'yanova
Kalashnikov Izhevsk State Technical University

CHANGES IN ONTOGENESIS OF BIOLOGICAL SYSTEMS UNDER THE CONDITIONS OF REDUCED GEOMAGNETIC FIELD BY EXAMPLES OF G.GALLUS, APIS MELLIFERA C., CUCURBITA M.

The geomagnetic field is an important environmental factor for the living nature. In this paper we set the global disposition of the magnetic field. In biophysics and ecology laboratory of Kalashnikov Izhevsk State Technical University we carried out experiments on studying the effect of reduced geomagnetic fields on various biological objects (birds, bees, plants, fish, etc.). The objective of the research was to study the impact of a weakened geomagnetic field on the ontogenesis of biological objects by examples of G. Gallus, Apis Mellifera C., C. maxima. Embryos of G. Gallus were the main object of the study. Larvas of Apis Mellifera C. and seeds of C. maxima served as an auxiliary, but very important, material to confirm the universal nature of the problem. It is determined that the effects of the weakened magnetic field on the change of the physiological conditions of biological objects depend on its attenuation level. It is found that the attenuation of magnetic field of the Earth for more than twice is a critical level, on which the morphological and structural changes in embryogenesis of biological object (for example, the larvas of Apis Mellifera C., embryos of G. gallus, seed of C. maxima) become noticeable. The larvas of Apis Mellifera C. and seeds of C. maxima, which have different level of biological complexity compared to embryos of G.gallus, show an identical reaction to the weakening of the geomagnetic field, which makes it possible to talk about the existence of similar mechanisms of magnetic susceptibility in different biological objects. The results can be used, for example, in the poultry farms for analysis of zones with the change in geomagnetic field and their elimination. The recommendations can be developed for the permissible level of reduced geomagnetic field in industrial areas where the biological objects are in the initial stages of ontogeny, which equals to half of the Earth's field.

Key words: reduced geomagnetic field; magnetobiology; ontogenesis of biological objects; larvas of bees; chick embryos.

Authors:

Lomaev Geliy Vasil'evich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Instruments, Testing and Diagnostics. Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: Lomaevgv1@mail.ru).

Emel'yanova Mariya Sergeevna – Assistant of the Department of Instruments, Testing and Diagnostics. Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: ems1988@mail.ru).

УДК 619:616.98:578.831.31-085.37:636.4

Е.В. Максимова, Д.И. Сафронов

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИММУНИЗАЦИИ СВИНЕЙ МОНОВАКЦИНОЙ ПРОТИВ РЕПРОДУКТИВНО-РЕСПИРАТОРНОГО СИНДРОМА СВИНЕЙ И В СОЧЕТАНИИ С АДАПТОГЕНОМ И ИММУНОМОДУЛЯТОРОМ

Создание стойкого иммунного ответа при вакцинации животных – одна из первоочередных задач ветеринарной службы. Вирус репродуктивно-респираторного синдрома свиней (PPCC) имеет широкое распространение во многих странах мира. Не является исключением и Российская Федерация. Данное заболевание наносит серьезный урон свиноводству, проявляясь в виде аборт, слабого потомства и респираторными патологиями. Целью работы явилось сравнение эффективности вакцинации против PPCC и в сочетании с иммуномодулирующим препаратом и адаптогеном. Для ее достижения поставлены задачи: провести мониторинг в хозяйстве по данному заболеванию; оценить общее состояние организма животных, клеточный и гуморальный иммунитет. В ходе исследований получены неоднозначные результаты. В хозяйстве методом иммуноферментного анализа выявлены антитела в сыворотке крови свиней к вирусу PPCC еще до вакцинации против этой болезни. В дальнейшем титр антител в контрольной и первой опытной группах постепенно возрастал к 14-му дню, тогда как во второй опытной

группе снижался. Но к 21-му дню во всех трех исследуемых группах происходил резкий скачок. Однако при оценке напряженности иммунитета на 27-й день после вакцинации титр антител также резко снижался. В контрольной и второй опытной группах он упал до значений ниже исходных. В первой опытной группе титр снизился, но находился выше изначальных данных. Первопричину этих изменений мы связываем с особенностями применяемой схемы вакцинации против РРСС, в результате чего лишь иммунизация с адьювантом позволила обеспечить стойкий иммунный ответ.

Ключевые слова: репродуктивно-респираторный синдром свиней; инактивированная вакцина; свиньи; адьювант; иммуномодулятор; иммунитет.

Актуальность. Сегодня промышленное свиноводство как никогда подвержено воздействию большого количества вирусных агентов. Заболевают животные всех половозрастных групп. По этой причине в хозяйствах используют огромный спектр препаратов для специфической защиты.

Среди вирусных заболеваний особое место занимает репродуктивно-респираторный синдром свиней. Возбудителя данной болезни Б.Г. Орлянкин относит к 1-й группе патогенов, вызывающих респираторные заболевания свиней, сопровождающиеся выраженными клиническими признаками и поражением легких [5].

Возбудителем РРСС является РНК-содержащий вирус, относящийся к роду *Arterivirus*, семейству *Arteriviridae*, порядку *Nodovirales*. Особенность артеривирусов заключается в том, что они реплицируются в перинуклеарной зоне цитоплазмы клеток хозяина, которыми обычно являются макрофаги. В местах соединения с маткой плацента отслаивается из-за некротического распада клеток, в результате чего инфицированные макрофаги мигрируют через плаценту и размножаются в тканях плода [2, 7].

Вирус РРСС классифицируют на несколько генотипов: американский и европейский, которые существенно отличаются друг от друга на генетическом уровне и ранее отличались по географическому расположению. Изначально вирус американского генотипа выделяли в Америке и Юго-Восточной Азии, а европейского – в Европе. С середины 90-х годов оба генотипа вируса РРСС выделяют на всех территориях.

В конце 1996 г. в штате Айова (США) впервые описана новая форма заболевания – «атипичный РРСС», проявляющаяся высоким уровнем заболеваемости и гибели, массовыми репродуктивными нарушениями, как у молодняка, так и у взрослых животных. Далее атипичный вирус распространялся по территории США и Канады.

Название «атипичный» связано с тем, что характер болезни отличался от классических американских и европейских типов РРСС. Наиболее широко данный тип распространился в КНР. Заболевание приобрело форму эпизо-

отии и по своим симптомам напоминало классическую чуму свиней (КЧС). Ветеринарные специалисты сначала идентифицировали ее как «КЧС-подобная» болезнь, так как клинические симптомы были подобны таковым при КЧС: высокая температура, отказ от корма, депрессия, эритематозные высыпания и т.д. На вскрытии отмечали очаги гиперплазии в легких в сочетании с крупными кровоизлияниями и отеком, инфаркты в селезенке, многочисленные кровоизлияния в почках и др. [9].

В настоящее время вирус РРСС зарегистрирован в большинстве стран мира [10]. В работах многих отечественных ученых отмечается ассоциированное течение репродуктивно-респираторного синдрома свиней с ЦВИС, ПВИС и различными бактериальными инфекциями среди свинополовья разного возрастного состава [3]. Более того, эти заболевания широко распространены в хозяйствах Удмуртской Республики [4]. Обладая характерным иммуносупрессивным действием, особенностью данного заболевания являются вспышки вторично наслонившихся бактериальных заболеваний. Более того, снижается эффективность вакцинаций от других инфекционных заболеваний, что впоследствии может спровоцировать возникновение особо опасных заболеваний [1, 6, 8].

Особая опасность возникла с момента появления атипичного вируса РРСС, который характеризуется острым течением процесса. Поэтому иммунизация против РРСС приобрела еще более значимый характер. Но, к сожалению, в связи со значительными финансовыми затратами эффективность вакцинации от той или иной болезни контролируется редко. А ведь формированию стойкого иммунного ответа могут активно препятствовать многие причины: стрессовый фактор, кормление и содержание, схема вакцинации, применяемая в хозяйстве, другие параллельно протекающие вирусные, бактериальные болезни, инвазии и многое другое.

В связи с этим целью нашей работы являлась оценка эффективности вакцинации против РРСС в крупном свиноводческом хозяйстве Удмуртской Республики.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) проведение мониторинга по РРСС в хозяйстве;
- 2) исследование общего клинического и биохимического статусов крови свиней;
- 3) определение напряженности иммунитета после вакцинации против РРСС.

Материал и методы. Исследования проводились в условиях промышленного свиноплеменника на ремонтном поголовье в весенне-летний период 2016 г., в трех группах по 12 голов. Группы формировались по принципу пар-аналогов. Контрольная группа включала животных, вакцинируемых инактивированной моновакциной против РРСС (ФГБУ «ВНИИЗЖ»). Животным первой опытной группы за 3 дня до вакцинации вводился адаптоген «Лигфол» в объеме 3 мл внутримышечно (контрольная и вторая опытная группы вместо адаптогена получали инъекцию физиологического раствора в том же объеме). Второй опытной группе в день вакцинации вводился иммуномодулирующий препарат «Фоспренил» в дозе 3 мл (контрольная и первая опытная группы в день вакцинации получали инъекцию физиологического раствора в объеме 3 мл).

Отбор крови проводили из глазного синуса за 3 дня до вакцинации и на 7, 14, 21, 27-й дни после вакцинации.

Общий анализ крови выполняли на гематологическом анализаторе, подсчет лейкоцитарной формулы – в мазках крови, окрашенных по Романовскому – Гимзе по общепринятой методике. Количество Т- и В-лимфоцитов определяли в реакции розеткообразования.

Наличие антител к вирусу РРСС в сыворотке крови и напряженность иммунитета определяли методом ИФА.

Также, с целью исключения воздействия паразитарных агентов, проводили предва-

рительную дегельминтизацию и контрольные копрологические исследования по методу Фюллеборна.

Полученные данные статистически обрабатывали в программе Excel по общепринятым методикам.

В исследуемом хозяйстве используется инактивированная моновакцина против РРСС. Схема вакцинации заключается в трехкратном введении вакцины с интервалом 20 дней, начиная в возрасте 180 дней.

Результаты исследований. При гематологических исследованиях установлено, что у поросят всех групп на момент начала опыта отмечался умеренный лейкоцитоз, который у животных контрольной группы на протяжении всего периода исследований оставался примерно на одном уровне. Тогда как в обеих опытных группах мы наблюдали постепенное снижение количества лейкоцитов к 21-му дню после вакцинации до физиологической нормы: $17,6 \pm 0,6 \times 10^9/\text{л}$ в первой и $18,9 \pm 0,9 \times 10^9/\text{л}$ во второй опытной группе (табл. 1).

Колебания уровня гемоглобина в крови животных всех исследуемых групп в течение опыта характеризуются аналогичной положительной тенденцией: в контрольной группе его содержание практически не изменилось, а в опытных группах уровень гемоглобина возрастал. Тем не менее необходимо отметить, что на фоне применения «Фоспренила» мы наблюдали плавное повышение содержания гемоглобина в периферической крови, в то время как на фоне «Лигфола» на 7-й день имел место резкий скачок с последующим снижением до верхних значений физиологической нормы.

При изучении лейкоцитарной формулы, динамика изменений которой отражена в таблице 2, обращают на себя внимание характерные колебания относительного количества лимфоцитов в периферической крови.

Таблица 1 – **Общий анализ крови исследуемых животных**

Группы животных		WBC, $10^9/\text{л}$	RBC, $10^{12}/\text{л}$	HGB, г/л	PLT, $10^9/\text{л}$	
Контрольная	До вакцинации	24±1	7±0,3	105,5±2,4	337±42	
	После вакцинации	7-й день	24±2	8,73±0,5	109 ±2,2	463,7±72,5
		14-й день	23,5±0,7	6,92±0,1	105,4±2,1	339,7±46,1
		21-й день	24±1,7	8,73±0,4	109±2,2	56,4±4,2
1-я опытная	До вакцинации	24±0,8	7±0,1***	105,5±2,4	337±48	
	После вакцинации	7-й день	21,3±1,6	8,2±0,7	142,2±14,2**	298,4±42,5
		14-й день	20±1,3	7,5±0,2***	124,3±4,8**	231,4±27,3
		21-й день	17,6±0,6*	6,2±0,2***	119,4±4,6*	267,7±17,7
2-я опытная	До вакцинации	21±1,7	6,6±0,3	102,5±6	260±37	
	После вакцинации	7-й день	19,2±1,4*	7,6±0,5	113,4±3 **	662,3±216,2
		14-й день	18,1±1,9*	7,1±0,3	112,7±6,54	256,2±51,8
		21-й день	19±1*	6,55±0,3	129,25±2,7	277,1±23,2

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ в сравнении с контролем.

Таблица 2 – Лейкоцитарная формула исследуемых животных

Группы животных		Палочкоядерные нейтрофилы, %	Сегментоядерные нейтрофилы, %	Эозинофилы, %	Моноциты, %	Лимфоциты, %	
Контроль	До вакцинации		4,7±1,5	6±1	5,3±1,2	5±1	63,4±0,7
	После вакцинации	7-й день	14,3±1	6,75±1,2	11,2±2	-	64,1±4,1
		14-й день	4,1±1,2	5,3±0,7	5,1±1,1	5,6±1,7	78,4±2,2
		21-й день	10±1	11,6±0,7	13±1	10±0,5	55,4±2
1-я опытная	До вакцинации		4,3±1,4	6,3±2,2	5,5±1,4	4,8±1,3	62,6±0,6
	После вакцинации	7-й день	7±2,6***	13,2±2,7*	12±1,6	3±2	64,7±3,1
		14-й день	6,5±1,5	10,3±2,3*	8	5,33±1	79±3,1
		21-й день	8,3±1	10,3±1,4	10±1	9,1±1	63,4±1,5**
2-я опытная	До вакцинации		9,7±0,6	15±1,2	3,7±0,6	1,3±0,3	71,2±1,0
	После вакцинации	7-й день	10±0,6	13,5±1,3***	3,7±0,6***	1,5±0,5	71,3±1,1
		14-й день	7±1	5,3±0,5	3,2±0,4	2,6±0,5	81,3±1,5
		21-й день	9,3±0,6	11±0,3	10,6±1	10,1±1,5	59,2±1,3

Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p< 0,001 в сравнении с контролем.

У всех животных, независимо от группы, к 14-му дню регистрировался пик содержания лимфоцитов (в контрольной группе – 78,4±2,2%, в первой опытной – 79±3,1%, во второй – 81,3±1,54%) с последующим его манифестным снижением на 21-й день (55,4±1,9% – в контрольной группе, 59,2±1,3% – во второй опытной и 63,4±1,54% – в первой).

Параллельно в крови животных всех групп после вакцинации отмечается увеличение количества эозинофилов. Выявляются незначительные колебания в содержании палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов.

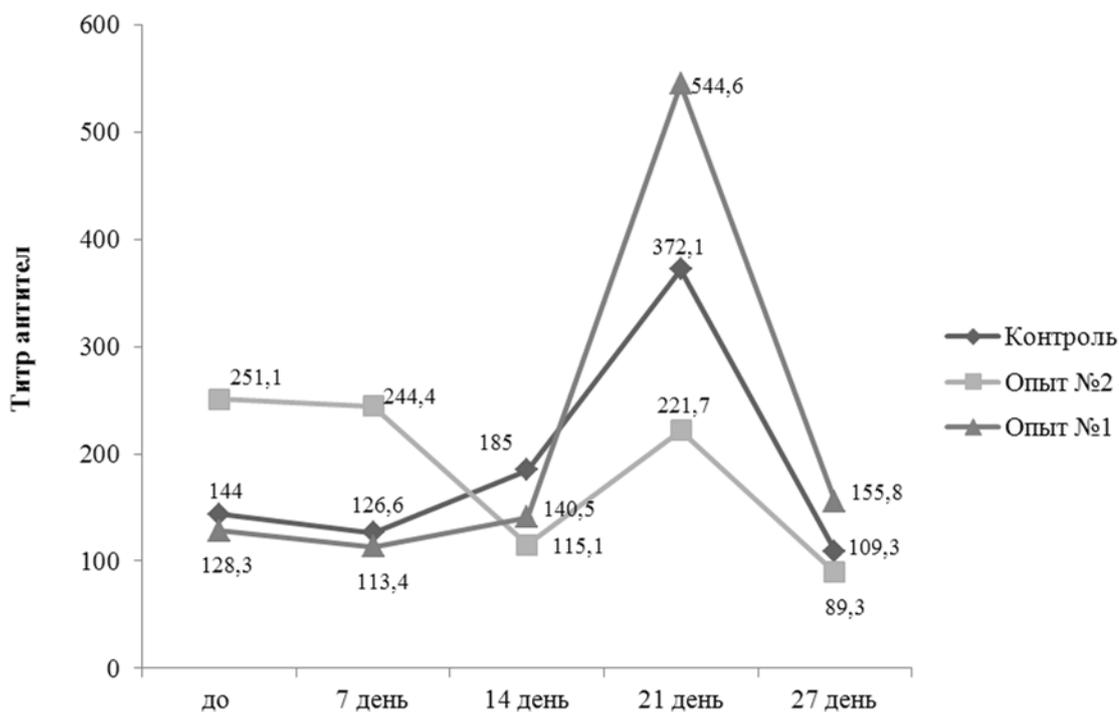
Биохимические исследования показали, что содержание общего белка в сыворотке крови (табл. 3) во всех трех группах с момента вакцинации достоверно нарастает к 21-му дню (p<0,05; p<0,01). На фоне применения «Лигфола» и «Фоспренила» отмечалось повышение содержания ферментов АЛТ, АСТ, ГГТ, ЩФ, но они варьируют в пределах физиологической нормы.

Методом иммуноферментного анализа в сыворотке крови свиней до вакцинации определено наличие антител в сыворотке крови к вирусу РРСС (рис.).

Таблица 3 – Биохимические показатели крови исследуемых животных

Группа животных	Сроки	АЛТ, ед/л	АСТ, ед/л	ЩФ, ед/л	ГГТ, ед/л	Общий белок, г/л	
Контрольная	До вакцинации		68,3 ±4,1	40,3 ±3,2	285,3 ±23,5	33,6 ±2,2	4,4 ±0,4
	После вакцинации	7-й день	67,6 ±2,3	45,5 ±3,6	289 ±19,8	33,4 ±1,9	4,5 ±0,2
		14-й день	63 ±4,4	44,6 ±9,3	292,8 ±29	34,4 ±1,8	6,41±1
		21-й день	63,2±7	36,2 ±3,5	211 ±44,3	40±1,5	8,2 ±0,3
1-я опытная	До вакцинации		59±1,3	35,4±8,6	213,5±21,2	28±5	5,6±4,3*
	После вакцинации	7-й день	59±1,1	38,6±10	209±15	28,1±7	6±0,6***
		14-й день	50,6±3,1	30,4±3,4***	226±33,1	28,6±5	6,7 ±1***
		21-й день	65,3±6	69±18***	319,6±13	38,3±5	8,2 ±0,12
2-я опытная	До вакцинации		48,5 ±3,2	35,3 ±2,2	170,3 ±20,5	33±2,4	5,3 ±0,5
	После вакцинации	7-й день	47,2 ±3,2***	34,6 ±5,2***	166,2±16,1***	34,5 ±2,5	5,9 ±0,5*
		14-й день	55 ±1,2	49±7	194,6 ±20**	35±2,33	5,5 ±0,5
		21-й день	63±4	66,1±26	266,4 ±27,4	34,7±3	7,1±0,2**

Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001 в сравнении с контролем.



Наличие титра антител в сыворотке крови до и после вакцинации на 7, 14, 21, 27-й дни

В дальнейшем наличие антител к 7-му дню во всех группах несколько снижается. Но уже к 14-му дню в контрольной и первой опытной группах начинает возрастать ($185 \pm 32,3\%$ и $140,4 \pm 43,4\%$ соответственно), а во второй опытной по-прежнему уменьшается ($115,1 \pm 44\%$). К 21-му дню во всех трех группах происходит резкое возрастание антител в сыворотке крови (контроль – $372,1 \pm 85,1\%$, первая опытная – $544,6 \pm 198\%$, вторая – $221,7 \pm 71,5\%$). Но при определении напряженности иммунитета через 27 дней после вакцинации во всех группах количество антител резко падает. В контроле и второй опытной группе эти значения становятся ниже данных до вакцинации ($109,3 \pm 17,2\%$ и $89,3 \pm 21,1\%$ соответственно), а в

первой опытной группе остаются на приемлемом уровне ($156 \pm 62,5\%$) в сравнении с исходным периодом.

Подобная динамика наблюдается и в реакции розеткообразования (табл. 4), где к 7-му дню после вакцинации во всех трех группах происходит относительное увеличение количества Т-лимфоцитов, а в дальнейшем постепенное снижение. Количество В-лимфоцитов в контрольной и первой опытной группах достигает максимума к 14-му дню после вакцинации ($75 \pm 4,5\%$ и $86 \pm 2,5\%$ соответственно), что, вероятно, и обуславливает описанный выше лимфоцитоз, а затем также снижается.

Копрологические исследования дали отрицательный результат.

Таблица 4 – Показатели клеточного иммунитета в периферической крови свиней

Группа животных	Сроки		Т-лимфоциты, %	В-лимфоциты, %
	До вакцинации	После вакцинации		
Контрольная	До вакцинации		$52,5 \pm 2,3$	$49,8 \pm 3,2$
	После вакцинации	7-й день	$58,3 \pm 2,2$	$55,6 \pm 1,8$
		14-й день	$38,7 \pm 9,4$	$75 \pm 4,5$
		21-й день	$36,5 \pm 3,4$	$58,6 \pm 3,6$
1-я опытная	До вакцинации		$62 \pm 4,5^*$	$68,1 \pm 2,3^{***}$
	После вакцинации	7-й день	$75 \pm 7,7^*$	$65 \pm 7,5$
		14-й день	$65 \pm 5^*$	$86 \pm 2,5$
		21-й день	$43,2 \pm 9,3$	$64 \pm 10,5$
2-я опытная	До вакцинации		$65,5 \pm 5^*$	$32,8 \pm 1,5^{***}$
	После вакцинации	7-й день	$72,8 \pm 5,4$	$67,2 \pm 7,3$
		14-й день	$55 \pm 6,7$	$56,6 \pm 16,6$
		21-й день	$53,5 \pm 7,1$	$44,5 \pm 3,4$

Примечание: * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$ в сравнении с контролем.

Заключение. Наличие антител к вирусу РРСС в сыворотке крови у свиней до вакцинации говорит о том, что данный вирус циркулирует в исследуемых группах.

На фоне применения «Лигфола» и «Фоспренила» уровень лейкоцитов в опытных группах снижается, в контрольной группе остается неизменным.

Относительный лимфоцитоз на 14-й день опыта во всех группах свидетельствует о том, что рост уровня лимфоцитов обусловлен воздействием вакцины и не зависит от применения иммуномодулятора и адаптогена.

Во всех трех группах динамика уровня титра антител в сыворотке крови характеризовалась незначительным первоначальным падением в течение первых двух недель с резким возрастанием к 21-му дню.

Результаты оценки напряженности иммунитета на 27-й день говорят о том, что вакцинация против РРСС в сочетании с адаптогеном позволяет получить более высокий уровень и напряженность специфического иммунного ответа.

Необходимо отметить, что снижение количества антител в сыворотке крови свиней может свидетельствовать о низкой эффективности применяемой схемы вакцинации. Подобный эффект можно объяснить наличием в организме физиологического предела, ограничивающего количество возможных повторных анамнестических ответов, что при данной схеме вакцинации, с учетом короткого интервала между ревакцинациями, приводит к невозможности формирования стойкого иммунного ответа.

Список литературы

1. Ануфриев, П.А. Клинико-эпизоотологическая и патоморфологическая диагностика репродуктивно-респираторного синдрома свиней / П.А. Ануфриев, П.А. Паршин, С.М. Сулейманов // Вестник РУДН, серия агрономия и животноводство. – 2009. – С. 74–80.
2. Верхнева, Д.А. Изменения в репродуктивной системе свинок 0-2 месяцев при РРСС / Д.А. Верхнева, Н.Н. Семенова // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 10-2. – С. 12–13.
3. Крысенко, Ю.Г. Эпизоотологический мониторинг болезней свиней на территории Удмуртской Республики / Ю.Г. Крысенко, Е.И. Трошин // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 14-17 февр. 2012 г. – Ижевск, 2012. – Т. 2. – С. 36–39.
4. Крысенко, Ю.Г. Серологический мониторинг репродуктивно-респираторного синдрома, цирку-

вирусной инфекции и парвовирусной инфекции свиней в Удмуртской Республике / Ю.Г. Крысенко, Г.Н. Бурдов, А.Ю. Попова // Ветеринарный врач. – 2007. – № 2. – С. 7–9.

5. Орлянкин, Б.Г. Инфекционные респираторные болезни свиней / Б.Г. Орлянкин // Животноводство России. – 2009. – С. 35–36.

6. Сафронов, Д.И. Динамика иммунологических изменений при вакцинации против репродуктивно-респираторного синдрома свиней / Д.И. Сафронов, Е.В. Максимова // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения. – 2016. – С. 54–56.

7. Сергеев, В.А. Вирусы и вирусные вакцины / В.А. Сергеев, Е.А. Непоклонов, Т.И. Алипер. – М.: Библионика, 2007. – 524 с.

8. Состояние гуморальной и клеточной систем иммунитета у свиней с репродуктивно – респираторным синдромом свиней / А.Г. Ключников [и др.] // Ветеринарная патология. – 2011. – № 1-2. – С. 40–43.

9. Филогенетическая характеристика вируса, вызвавшего вспышку атипичного репродуктивно-респираторного синдрома свиней в Иркутской области Российской Федерации / А.В. Щербаков [и др.] // Ящур и другие болезни крупного рогатого скота и свиней. – 2009. – С. 55–63.

10. Nguyen, T. PRRS control in the region / T. Nguyen // Conf. OIE. – 2013. – P. 1–8.

Spisok literatury

1. Anufriev, P.A. Kliniko-jepizootologicheskaja i patomorfologicheskaja diagnostika reproduktivno – respiratornogo sindroma svinej / P.A. Anufriev, P.A. Parshin, S.M. Sulejmanov // Vestnik RUDN, serija agronomija i zhivotnovodstvo. – 2009. – S. 74–80.
2. Verhneva, D.A. Izmenenija v reproduktivnoj sisteme svinok 0-2 mesjacev pri RRSS / D.A. Verhneva, N.N. Semenova // Agrarnyj vestnik Urala. – 2012. – № 10-2. – S. 12–13.
3. Krysenko, Ju.G. Jepizootologicheskij monitoring boleznej svinej na territorii Udmurtskoj Respubliki / Ju.G. Krysenko, E.I. Troshin // Innovacionnomu razvitiyu APK i agrarnomu obrazovaniju – nauchno obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 14-17 fevr. 2012 g. – Izhevsk, 2012. – T. 2. – S. 36–39.
4. Krysenko, Ju.G. Serologicheskij monitoring reproduktivno-respiratornogo sindroma, cirkovirusnoj infekcii i parvovirusnoj infekcii svinej v Udmurtskoj Respublike / Ju.G. Krysenko, G.N. Burdov, A.Ju. Popova // Veterinarnyj vrach. – 2007. – № 2. – S. 7–9.
5. Orljankin, B.G. Infekcionnye respiratornye bolezni svinej / B.G. Orljankin // Zhivotnovodstvo Rossii. – 2009. – S. 35–36.
6. Safronov, D.I. Dinamika immunologicheskikh izmenenij pri vakcinacii protiv reproduktivno-respiratornogo sindroma svinej / D.I. Safronov, E.V. Maksimova // Nauchnoe i kadrovoe obespechenie APK dlja prodovol'stvennogo importozameshhenija. – 2016. – S. 54–56.

7. Sergeev, V.A. Virusy i virusnye vakciny / V.A. Sergeev, E.A. Nepoklonov, T.I. Aliper. – М.: Bibliionika, 2007. – 524 s.

8. Sostojanie gumoral'noj i kletочноj sistem immuniteta u svinей s reproduktivno – respiratornym sindromom svinей / A.G. Kljuchnikov [i dr.] // Veterinarная патология. – 2011. – № 1-2. – S. 40–43.

9. Filogeneticheskaja harakteristika virusa, vyzvavshego vspyshku atipichnogo reproduktivno-respiratornogo sindroma svinей v Irkutskoj oblasti Rossijskoj Federacii / A.V. Shherbakov [i dr.] // Jashhur i drugie bolezni krupnogo rogatogo skota i svinей. – 2009. – S. 55–63.

10. Nguyen, T. PRRS control in the region / T. Nguyen // Conf. OIE. – 2013. – P. 1–8.

Сведения об авторах:

Максимова Елена Вениаминовна – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры инфекционных болезней и патанатомии. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11).

Сафронов Данил Игнатьевич – аспирант кафедры инфекционных болезней и патанатомии. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: danil.safronov.92@mail.ru).

E.V. Maksimova, D.I. Safronov

Izhevsk State Agricultural Academy

EFFICACY EVALUATION OF IMMUNIZATION WITH MONOVALENT VACCINE AGAINST PORCINE REPRODUCTIVE AND RESPIRATORY SYNDROME IN COMBINATION WITH ADAPTOGEN AND IMMUNOMODULATOR

The creation of a stable immune response after the vaccination of animals is one of the primary tasks of the veterinary service. Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome (PRRS) virus is widespread all over the world. Russian Federation is no exception. Unfortunately the disease causes serious damage to pig production, manifesting itself in the form of abortions, weak progeny and respiratory pathologies. The purpose of our work is comparison of the effectiveness of vaccination against PRRSV and in combination with an immunomodulatory drug and adaptogen. Our task was to monitor the disease progression and assess the overall state of the organism, cellular and humoral immunity. Significant results were obtained during the research. In particular, ELISA serum test detected antibodies to PRRSV even before vaccination. Subsequently, the antibody titer in the control group and the first experimental group had been gradually increasing by day 14, whereas it decreased in the second experimental group. By day 21 there was a dramatic increase in all three treatment groups. However, the antibody titer also sharply declined according to the assessment of immunity intensity at 27 day post-vaccination mark. In the control group and in the second experimental group, it fell to below pre-vaccination values. In the first experimental group, the titer decreased, but still remained higher than the original data. We believe that the root cause of these changes is associated with the scheme of the PRRS vaccination used in the household, resulting in the fact that only the immunization with adaptogen enabled the persistent immune response.

Key words: porcine reproductive and respiratory syndrome of pigs; the inactivated vaccine; pigs; the adaptogen; the immunomodulator; immunity.

Authors:

Maksimova Elena Veniaminovna – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Infectious Diseases and Pathological Anatomy. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069).

Safronov Danil Ignatievich – post-graduate student of the Department of Infectious Diseases and Pathological Anatomy. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: danil.safronov.92@mail.ru).

УДК 631.371:633.521

И.В. Бадретдинова, Н.Ю. Касаткина

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПЕКТИНОВОГО КОМПЛЕКСА СТЕБЛЯ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

Приготовление тресты является одной из важнейших операций в процессе производства высококачественного длинного волокна. Все существующие способы не позволяют получить рентабельный продукт с высокими качественными показателями. Увеличение выхода качественного продукта достигается введением в технологию производства тресты ультразвукового разрушения пектинового комплекса в водной среде. Для обоснования эффективности процесса определили условия возникновения активной среды и исследовали кинетику процесса. Результаты работы оценены термогравиметрическим анализом и микроскопическим методом. Разрушительное действие клеящего комплекса зависит от интенсивности кавитации, скорости и характера акустических течений, величины радиационного давления, которые определяются амплитудой и частотой колебаний ультразвукового излучателя, величиной внешнего статического давления, свойствами жидкости и ее температурой. Теоретически определены условия возникновения активной среды, способной вести процессы ультразвукового разрушения органического комплекса стебля льна. Исследована кинетика процесса, установлены следующие параметры: оптимальная температура обработки стеблей составила 18...20°C, время гидратации 13...16 мин, потеря сухих веществ при звуковой обработке соломы в течение 60 мин достигает 54%. Установлена и доказана эффективность ультразвукового диспергирования органического комплекса стебля льна в водной среде на стадии приготовления тресты.

Ключевые слова: лен; треста; длинное волокно; ультразвук, озвучиваемая среда; диспергирование; пектиновые вещества; лигнин; эффективность процесса.

Актуальность. Лен-долгунец – важная исконно российская техническая культура комплексного использования. Основная ценность льна заключается в уникальных свойствах волокна, из которого изготавливают широкий ассортимент бытовых, медицинских и технических тканей – от тонкого батиста до брезента и пожарных рукавов. Также льняное волокно используют в медицинской промышленности, в частности, для изготовления тончайших медицинских нитей, ваты [5, 7] и перевязочного материала.

Выход длинного волокна, наиболее ценного продукта, напрямую связан с качеством тресты. По мнению Е.В. Корепановой, И.Ш. Фатыхова, роль сорта особенно влияет на качество тресты [10, 11, 14], как и способ ее приготовления [6, 12, 13].

На сегодняшний день известно много способов приготовления тресты, все они нашли свое применение на льноперерабатывающих предприятиях, но даже самые современные технологии производства льняной тресты до сих пор не обеспечивают высоких показателей выхода длинного волокна [12]. Проблемы существующих технологий связаны с длительным, трудоемким, энергозатратным процессом разруше-

ния клеящего пектинового комплекса стебля льна. Незначительное отступление от технологии приводит к разрушению не только пектинового комплекса, но и самого длинного волокна. В этих условиях единственным экономически выгодным усовершенствованием технологического процесса первичной переработки льна с целью уменьшения потерь длинного волокна является внедрение в процесс энергосберегающих электротехнологий [12].

Использование ультразвука в технологических процессах позволит значительно сократить процесс приготовления тресты, повысить качество волокна, а также создать условия для автоматизации процесса производства [13].

Перспектива развития техники первичной переработки льна связана с переходом к установкам поточно-циклического и непрерывного действия, повышением эффективности оборудования за счет интенсификации процессов разрушения клеящего комплекса стебля льна [6, 8].

Известно, что помещенный в водную, озвучиваемую среду биологический объект может подвергаться механическим, химическим, биологическим изменениям. В частности, практический интерес представляют процессы ультразвуковой пропитки и разрушения, диспер-

гирования компонентов волокнистых материалов [1, 2, 4].

Цель исследования: обосновать эффективность ультразвукового диспергирования пектинового комплекса стебля льна-долгунца.

Задачи исследования: определение условий возникновения активной среды, способной вести процессы ультразвукового разрушения органического комплекса стебля льна, исследование кинетики процесса ультразвукового замачивания стебля льна.

Материал и методы. Проведены лабораторные исследования динамики процесса замачивания стеблей льна-долгунца поздней спелости в озвучиваемой среде, кинетика перехода органических веществ, переходящих в раствор при ультразвуковой обработке. Изучен и оценен характер разрушения стеблей льна-долгунца после ультразвуковой обработки в водной среде. Динамика процесса замачивания определялась методом термогравиметрического анализа с помощью влагомера РСЕ МВ 50. Внешний вид и структура клеящего комплекса после ультразвукового воздействия изучены микроскопическим методом при помощи электронного микроскопа МР-450 (2135).

Результаты и их обсуждение. Нами проведен теоретический анализ факторов, которые могут оказывать влияние на процесс ультразвукового диспергирования органического комплекса льна в водной озвучиваемой среде

[1, 2, 4]. Эти факторы выведены на схему, представленную на рисунке 1.

Теоретически установлено, что эффективность ультразвукового диспергирования органического комплекса зависит от интенсивности кавитации, скорости и характера акустических течений, величины радиационного давления, которые в свою очередь определяются амплитудой и частотой колебаний излучателя, величиной внешнего статического давления, свойствами жидкости и ее температурой [1, 4, 13].

Для изучения и осуществления процессов гидролитического насыщения растительных тканей льна разработана экспериментальная ванна.

Компоновочная схема установки представлена на рисунке 2.

Установка предполагает: латунную ванну для обработки, систему генерации ультразвуковых колебаний, включающую в себя: ультразвуковой генератор, излучатель пьезоэлектрический, вмонтированный в боковую стенку ванны.

Принцип работы установки следующий: в ванну укладывается необходимое количество льносоломки и подается вода нужной температуры.

Затем включается УЗ-генератор. Начало процесса фиксируется началом образования мельчайших пузырьков газа в озвучиваемой среде.



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на процесс ультразвукового замачивания льняной соломки

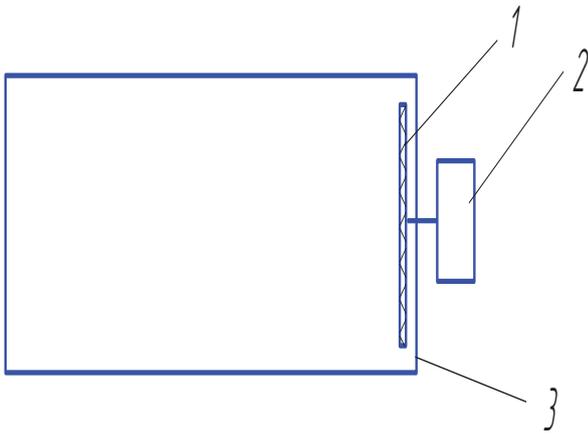


Рисунок 2 – Компоновочная схема ванны УЗ-обработки: 1 – излучатель ультразвука; 2 – генератор; 3 – ванна

По окончании процесса отключаются генераторы возбуждения, а продукт и водная среда анализируются.

Размеры ультразвуковой ванны были выбраны, исходя из длины стебля, плотности загрузки соломы и количества воды, необходимой для протекания процесса. Длина ванны составила 1,30 м, высота 0,80 м, ширина 0,60 м, высота укладки соломы 70 см, высота жидкости в ванне с соломой 75 см.

Ультразвуковой преобразователь выбрали пьезоэлектрический с частотой $f = 110$ кГц, интенсивность звука составляла 566 Вт/см², мощность генератора $N 28,3$ кВт.

Расположение генератора выбиралось из условия максимально быстрого намокания пористого материала, доказанного Е.Г. Коноваловым [9].

При проведении эксперимента объектом обработки являлась льняная солома, соответствующая номеру 1,25 и влажности 19% по ГОСТ 2975-73.

Плотность загрузки соломы составила 60 кг/м³, в ванну помещали солому массой 32 кг.

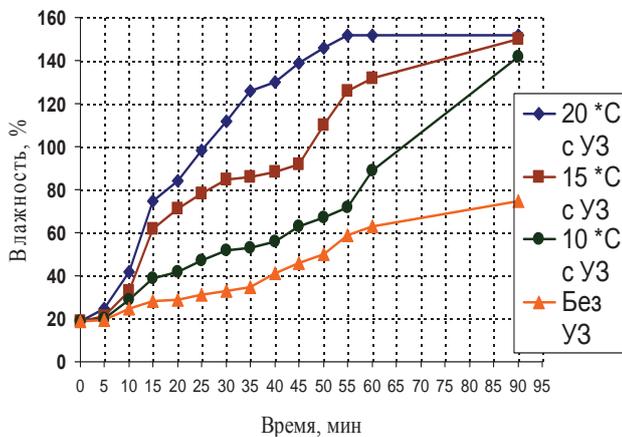


Рисунок 3 – Кинетика процесса замачивания стеблей льна поздней спелости в озвучиваемой среде

Средой обработки служила вода водопроводная с общей жесткостью $38,5^0$, плотность среды 1012 кг/м³.

В процессе замачивания льняной стебель увлажнялся, и из него выщелачивались легкорастворимые вещества. Эффективность увлажнения и выщелачивания зависит от температуры воды и продолжительности замочки.

В зависимости от степени зрелости растения (периода его уборки) изменяли рабочие параметры обработки (табл.).

Результаты гидролиза в поле ультразвука при определении продолжительности

Льняная солома	Температура в ванне, t (°C)	Влажность стебля W _{ст} (%)	Время гидролиза, t, (мин)
Поздней спелости	19...20	74...82	15
Средней спелости	18...20	72...80	21
Ранней спелости	18...21	73...79	25

На рисунке 3 представлена кинетика намокания стебля льна при различных температурных параметрах.

Экспериментальные исследования показали оптимальное время обработки и температуру среды, которые составили 60 мин и 20°С.

В процессе обработки льняной соломы, при заданных оптимальных параметрах, оценивался переход органических веществ в раствор. Результаты оценок выведены на рисунок 4, на котором видно, что за время процесса (60 мин) количество перешедших, разрушенных органических веществ составило 54%.

На рисунках 5 и 6 приведен внешний вид стеблей и срезов стеблей льна после обработки ультразвуком, в результате чего наблюдается явное разрушение тканей соломы.

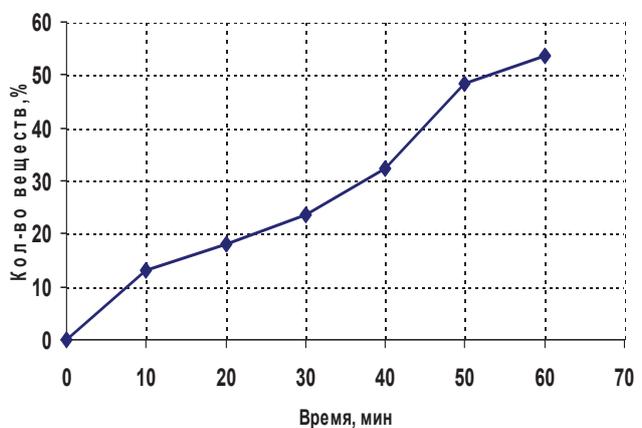


Рисунок 4 – Кинетика перехода органических веществ, переходящих в раствор при ультразвуковой обработке

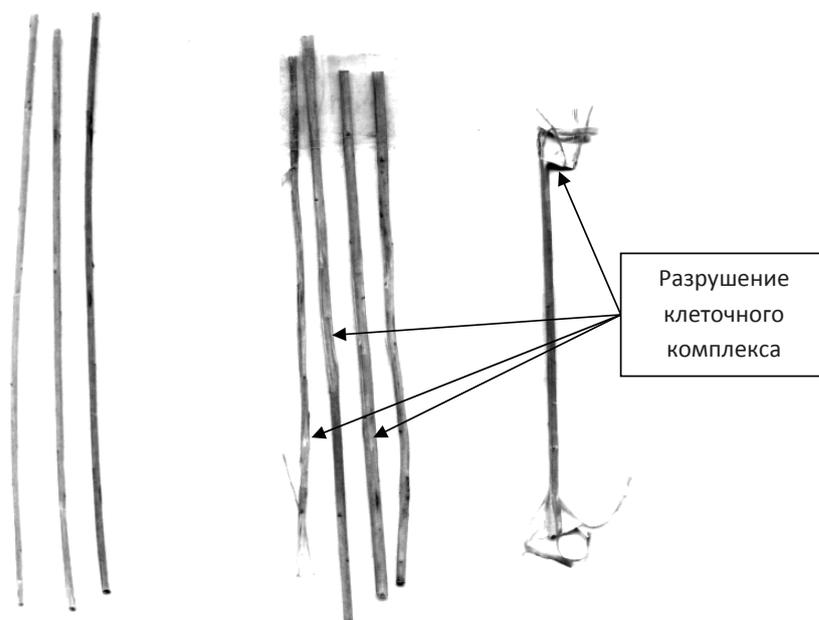


Рисунок 5 – Внешний вид стебля льна после ультразвуковой обработки

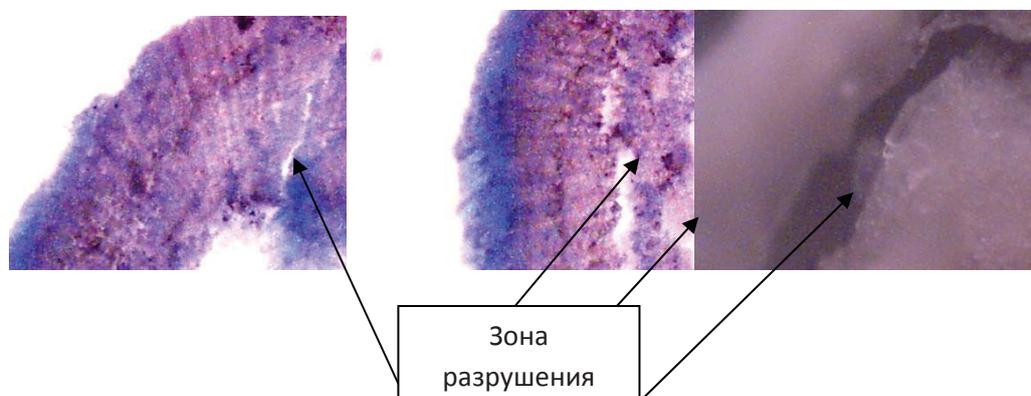


Рисунок 6 – Разрушение стебля льна в озвучиваемой среде (срез льна в 200-кратном увеличении)

Вывод. Теоретически определены условия возникновения активной среды, способной вести процессы ультразвукового разрушения органического комплекса стебля льна, установлено:

- увеличение поверхностного натяжения жидкости от 10 до 80 дин/см приводит к уменьшению максимального радиуса кавитационной полости R_{max} , что влечет за собой уменьшение критерия эрозионной активности χ от $0,52 \times 10^{-6}$ до $0,56 \times 10^{-6}$;

- увеличение плотности от 0,5 до 5,0 г/см³ приводит к уменьшению χ примерно на 10%;

- оценка величины χ для различных частот показывает, что с изменением частоты величина Δt_{minf} , а также отношение R_{max} / R_{min} сохраняются постоянными при фиксированном значении P_A .

При исследовании кинетики процесса ультразвукового замачивания стебля льна установлено: оптимальная температура обработки стеблей составляет 18...20°C; стебли поздней спелости гидрируются в течение 13...16 мин;

потеря сухих веществ при звуковой обработке соломы в течение 60 мин достигает 54%.

Список литературы

1. Ультразвуковая технология / Б.А. Агранат, В.И. Башкиров, Ю.И. Китайгородский [и др.]. – М.: Наука, 1976. – 502 с.
2. Агранат, Б.А. Применение ультразвука в металлургии / Б.А. Агранат, Л.Е. Конторович, Н.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1972. – 145 с.
3. Бадретдинова, И.В. Химическая активность среды под воздействием ультразвука / И.В. Бадретдинова, Н.М. Агафонова, В.В. Касаткин // Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства: по материалам юбилейной научно-практической конференции «Высшему агроинженерному образованию в Удмуртии – 50 лет» / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2005. – С. 17-21.
4. Бородин, Ф.А. Исследование кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле высокой интенсивности: дис. ... канд. техн. наук / Ф.А. Бородин. – М., 1966.
5. Грищева, В.А. Новые изделия из льна для медицины / В.А. Грищева // Наука, лесное хозяйство

и промышленность – пути развития и ожидаемые результаты: материалы Международной научно-практической конференции, г. Вологда: тезисы докладов. – М.: ЦНИИ комплексной автоматизации легкой промышленности, 2008. – С. 85-87.

6. Гурусова, А.А. Строение, состав и свойства целлюлозных волокон / А.А. Гурусова, А.Г. Ивлев, Е.В. Шаповалюк. – Кострома: КГТУ, 2005. – 34 с.

7. Данышева, Н.С. Математическое описание диффузии щелочи при варке волокнистых материалов / Н.С. Данышева, И.В. Бадретдинова / Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1. – С. 59–61.

8. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Я. Соколова. – М.: Машиностроение, 1969. – 531 с.

9. Коновалов, Е.Г. Новые способы пропитки изделий с помощью ультразвуковых колебаний / Е.Г. Коновалов, И.Н. Германович. – Минск, 1967. – 23 с.

10. Корепанова, Е.В. Лен-долгунец в адаптивном земледелии Среднего Предуралья: монография / Е.В. Корепанова, И.Ш. Фатыхов, Л.А. Толканова. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2004. – 204 с.

11. Корепанова, Е.В. Роль элементов технологии возделывания в формировании урожайности льна-долгунца Синичка в Среднем Предуралье / Е.В. Корепанова // Аграрная наука Евро-Северо – Востока. – 2005. – № 7. – С. 24-27.

12. Кузнецова И.В. Состояние и направления переработки льна / И.В. Кузнецова, Н.М. Агафонова, В.В. Касаткин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции; ФГОУ ВПО Казанская ГСХА. – Казань: РИО ФГОУ ВПО, 2004.

13. Кузнецова, И.В. Ультразвук в первичной переработке льна-долгунца / И.В. Кузнецова, Н.М. Агафонова, А.И. Собин // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции / ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005 – С. 23-26.

14. Фатыхов, И.Ш. Реакция сортов льна-долгунца на абиотические условия и гербициды при возделывании на семена в Среднем Предуралье / И.Ш. Фатыхов, Я.Н. Сундукова, Е.В. Корепанова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С.6-9.

15. Эмануэль, Н.М. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе / Н.М. Эмануэль, Е.Т. Денисов, З.К. Майзус. – М.: Наука, 1985. – 367 с.

Spisok literatury

1. Ul'trazvukovaja tehnologija / В.А. Агранат, В.И. Башкиров, Ю.И. Китажгородский [и др.]. – М.: Наука, 1976. – 502 с.

2. Агранат, В.А. Применение ул'tразвука в металлургии / В.А. Агранат, Л.Е. Конторович, Н.И. Новиков. – М.: Metallurgija, 1972. – 145 с.

3. Badretdinova, I.V. Himicheskaja aktivnost' sredy pod vozdejstviem ul'trazvuka / I.V. Badretdinova, N.M. Agafonova, V.V. Kasatkin // Aktual'nye problemy mehanizacii sel'skogo hozjajstva: po materialam jubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Vysshemu agroizshernomu obrazovaniju v Udmurtii – 50 let» / FGBOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2005. – С. 17-21.

4. Borodin, F.A. Issledovanie kavitacionnogo razrushenija i dispergirovanija tverdyh tel v ul'trazvukovom pole vysokoj intensivnosti: dis. ... kand. tehn. nauk / F.A. Borodin. – М., 1966.

5. Grishheva, V.A. Novye izdelija iz l'na dlja mediciny / V.A. Grishheva // Nauka, lesnoe hozjajstvo i promyshlennost' – puti razvitija i ozhidaemye rezultaty: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, g. Vologda: tezisy dokladov.– М.: CNII kompleksnoj avtomatizacii legkoj promyshlennosti, 2008. – С. 85-87.

6. Gurusova, A.A. Stroenie, sostav i svojstva celljuloznyh volokon / A.A. Gurusova, A.G. Ivlev, E.V. Shapovaljuk. – Kostroma: KGTU, 2005. – 34 s.

7. Danyшева, N.S. Matematicheskoe opianie diffuzii shhelochi pri varke voloknistyh materialov / N.S. Danyшева, I.V. Badretdinova / Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 1. – С. 59–61.

8. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i avtomatov pishhevyyh proizvodstv / pod red. d-ra tehn. nauk, prof. A.Ja. Sokolova. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 531 s.

9. Konovalov, E.G. Novye sposoby propitki izdelij s pomoshh'ju ul'trazvukovyh kolebanij / E.G. Konovalov, I.N. Germanovich. – Minsk ,1967. – 23 s.

10. Korepanova, E.V. Len-dolgunec v adaptivnom zemledelii Srednego Predural'ja: monografija / E.V. Korepanova, I.Sh. Fatyhov, L.A. Tolkanova. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2004. – 204 s.

11. Korepanova, E.V. Rol' jelementov tehnologii vzdelyvanija v formirovanii urozhajnosti l'na-dolgunca Sinichka v Srednem Predural'e / E.V. Korepanova //Agrarnaja nauka Evro-Severo – Vostoka. – 2005. – № 7. – С. 24-27.

12. Kuznecova I.V. Sostojanie i napravlenija pere-rabotki l'na / I.V. Kuznecova, N.M. Agafonova, V.V. Kasatkin // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii; FGOU VPO Kazanskaja GSHA. – Kazan': RIO FGOU VPO, 2004.

13. Kuznecova, I.V. Ul'trazvuk v pervichnoj pere-rabotke l'na-dolgunca / I.V. Kuznecova, N.M. Agafonova, A.I. Sobin // Sovremennye problemy agrarnoj nauki i puti ih reshenija: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii / FGOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSHA, 2005 – С. 23-26.

14. Fatyhov, I.Sh. Reakcija sortov l'na-dolgunca na abiotichesie uslovija i gerbicydy pri vzdelyvanii na semena v Srednem Preural'e / I.Sh. Fatyhov, Ja.N. Sundukova, E.V. Korepanova // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2013. – № 3. – С.6-9.

15. Jemanujel', N.M. Cepnye reakcii okislenija uglevodorodov v zhidkoj faze / N.M. Jemanujel', E.T. Denisov, Z.K. Majzus. – М.: Наука, 1985. – 367 с.

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).

Касаткина Надежда Юрьевна – кандидат 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: kasatnu@yandex.ru).

I.V. Badretdinova, N.Yu. Kasatkina

Izhevsk State Agricultural Academy

EFFICIENCY JUSTIFICATION OF ULTRASONIC MATERIAL DISPERSION OF PECTIC COMPLEX OF THE FLAX STEM

The retted straw preparation is the primary operation in the process of production of high-quality long fibers. All existing methods do not provide cost-effective products with high quality indicators. Yield increase of a quality product is achieved by introducing to a technology of retted straw production the ultrasonic destruction of the pectin complex in aqueous medium. To justify the efficiency of the process we defined the conditions of occurrence of the active medium and investigated the process kinetics. The work results were assessed by the thermal gravimetric analysis and the microscopic method. The devastating effect of a gum system depends on the cavitation intensity, the speed and nature of acoustic currents, the magnitude of the radiation pressure, which in turn are determined by the amplitude and oscillation frequency of the ultrasonic transducer, the intensity of the external static pressure, properties of the liquid and its temperature. The conditions of the creation of an active medium with the ability of conducting the processes of ultrasonic destruction of organic complex of the flax stem were theoretically determined. The kinetics of the process was investigated, the following parameters were set: the optimal temperature of the stems processing was 18...20°C, the time of rehydration - 13...16 min., the loss of dry substances during the sound processing of straw within 60 minutes reached 54%. The efficiency of ultrasonic material dispersion of the organic complex of the flax stem in aqueous medium at the stage of retted straw preparation was established and proved.

Key words: flax; retted straw; long fiber; ultrasound; insonified medium; dispersion; pectin substances; lignin; process efficiency.

Authors:

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

Kasatkina Nadezhda Yurievna – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Processing Technology and Equipment. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: kasatnu@yandex.ru).

УДК 631.363

А.Г. Бастригов, П.В. Дородов, О.С. Федоров, В.И. Ширококов

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОБОСНОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЦИКЛОНА-СЕПАРАТОРА ДЛЯ ДРОБИЛОК ЗЕРНА

В инженерном отношении изучение процесса измельчения зерна имеет особое значение, так как эта операция является наиболее энергоемкой и дорогой. Разделение на фракции измельчаемого материала в дробилках зерна происходит при помощи сменных решет – сепаратора. Модернизация дробилки путем установки сепаратора в циклоне улучшает технико-экономические и качественные показатели. Экспериментальные исследования показали необходимость теоретического обоснования конструктивных размеров и пропускной способности или производительности циклона с сепаратором. Целью работы является повышение пропускной способности молотковой дробилки зерна путем определения оптимального объема циклона-сепаратора. Решаются следующие задачи: теоретически обосновать конструктивные размеры и пропускную способность циклона с сепаратором; провести сравнение теоретических параметров с экспериментальными. Теоретические исследования при принятых допущениях позволяют вывести уравнения движения частицы «пылевого газа» под действием силы тяжести, центробежной силы и сил сопротивления среды. Решение уравнения движения частицы позволи-

ло определить ряд зависимостей: изменение радиальной скорости частиц в диаметральной сечении циклона; изменение максимальной радиальной скорости частиц в зависимости от радиуса циклона; изменение производительности циклона в зависимости от его радиуса и толщины слоя потока частиц. Сравнительный анализ теоретической зависимости производительности циклона-сепаратора от его радиуса и экспериментальных данных показал, что теоретические кривые с различными механическими характеристиками газопылевой среды находятся в пределах доверительного интервала 5%. Полученные уравнения для скоростей и производительности процесса сепарации имеют самостоятельный теоретический интерес, так как их можно использовать для вычисления других физико-механических и геометрических параметров.

Ключевые слова: циклон-сепаратор; обоснование; скорость; траектория; диаметр; производительность.

Актуальность. Анализ оборудования для дробления зерна на сельскохозяйственных предприятиях показал, что разделение на фракции измельчаемого материала происходит при помощи сменных решет, установленных в дробильной камере. Как показывают ранее проведенные исследования [1-5], такие дробилки имеют ряд недостатков, вызванных несовершенством конструкции и рабочего процесса: повышенный расход энергии; интенсивный износ рабочих органов, особенно при попадании с зерном металлических и минеральных примесей; наличие в готовом продукте большого количества пылевидной фракции; неравномерный гранулометрический состав. С целью исключения части недостатков разработаны модернизированные молотковые дробилки зерна [3, 4, 8, 9]. Как показали исследования [2], модернизированные дробилки значительно улучшили технико-экономические и качественные показатели. При этом произошло снижение производительности дробилки вследствие неэффективного использования поверхности сепаратора, установленного в стандартный циклон. Для повышения производительности дробилки проводились дополнительные исследования с увеличенными размерами циклона-сепаратора (рис. 1).

В этом случае площадь поверхности решета увеличивалась за счет большего диаметра конической части циклона, а высота циклона оставалась постоянной.

В результате обработки экспериментальных исследований [10] выяснилось, что увеличение объема циклона-сепаратора более 0,7 м³ является нерациональным. Однако проведенный теоретический анализ не позволяет выявить зависимость производительности модернизированной дробилки зерна от размеров циклона-сепаратора [11, 12].

В силу значительной трудоемкости экспериментальных исследований с дробилками зерна большей производительности возникает необходимость теоретического обоснования зависимости пропускной способности циклона-сепаратора от его геометрических размеров, что, несомненно, является актуальной задачей.

Целью работы является повышение пропускной способности молотковой дробилки зерна путем определения оптимального объема циклона-сепаратора.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **задачи**: теоретически обосновать конструктивные размеры и пропускную способность циклона с сепаратором; провести сравнение теоретических параметров с экспериментальными.



Рисунок 1 – Конструкции циклона с различными диаметрами

Результаты и обсуждение. Предметом исследования является модернизированный циклон стандартной дробилки семейства КДУ. Изменения, внесенные в конструкцию циклона, позволили разделить процесс измельчения и сепарации, в новой конструкции воздушно-продуктовая смесь, поступившая в сепарирующий конус 2 (рис. 2), по ниспадающей спирали продолжает движение по внутренней поверхности конуса. При этом пылевидные частицы и отработанный воздух через пылепровод отсасываются из внутреннего пространства циклона-сепаратора 1, а частицы зерна, измельченные до необходимого размера, поступают в зазор между сепарирующим конусом 2 и циклоном-сепаратором 1 и по его поверхности в шлюзовую затвор для выгрузки в тару. Недоизмельченные частицы зерна, оставшиеся внутри сепарирующего конуса, поступают на повторное измельчение.

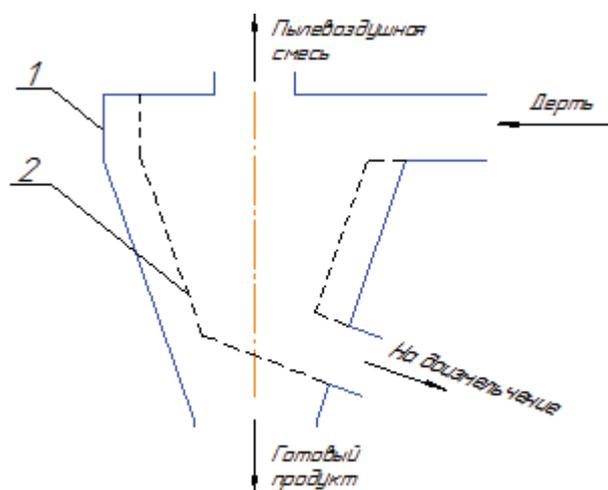


Рисунок 2 – Схема циклона-сепаратора

В качестве исходного материала для изготовления конического сепарирующего решета использовали гладкие пробивные решета из оцинкованной стали (ТУ 23.2.2068-89) с круглыми отверстиями, для установки конического сепарирующего решета, а также для последующей замены решет конструкция циклона-сепаратора выполнена разъемной (рис. 3).

При постановке задачи теоретического исследования движения частиц принимаются следующие допущения. Движение в спирали потока частиц ламинарное и квазистационарное. Движением газа от решета к оси циклона-сепаратора пренебрежимо мало. Отсутствует отрыв частиц от стенок сепарирующего решета и не учитывается оседание в конической части. Принятые допущения позволяют вывести уравнения движения частицы «пылевого газа» под действием силы тяжести, центробежной силы и сил сопротивления среды [13]:

$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{U^2}{r} - a_0 V, \\ \frac{\partial U}{\partial t} = b \left(U - \frac{\varepsilon}{\sqrt{r}} \right), \\ \frac{\partial W}{\partial t} = g - b \left(W - \frac{Q_0}{A} \right), \end{cases} \quad (1)$$

где V , U , W – соответственно радиальная, тангенциальная и осевая компоненты скорости частицы (рис. 4), м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q_0 – объемный расход, м³/с;

A – площадь входного сечения циклона, м²;

r – радиус траектории движения частицы, м;

t – время, с;

a_0 , b , e – характеристики, зависящие от геометрии частиц и вязкости газопылевой среды.



Рисунок 3 – Конструкция сепарирующего решета и порядок установки в циклоне

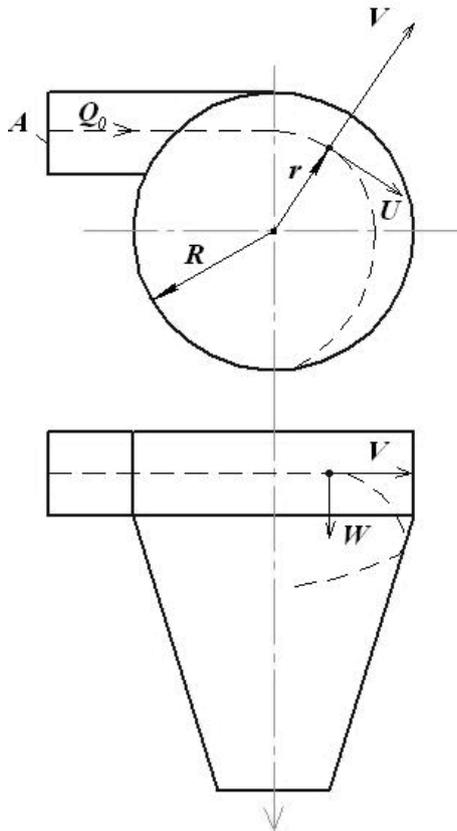


Рисунок 4 – Компоненты скорости частицы в циклоне

Для осевой силы имеем решение:

$$W = \frac{Q_0}{A} + \frac{g}{b}(1 - e^{-bt}). \quad (2)$$

Полагая, что $V = \frac{dr}{dt}$ и пользуясь эмпирической зависимостью

$$U = \frac{\varepsilon}{\sqrt{r}}, \quad (3)$$

первое уравнение системы (1) приводится к нелинейному дифференциальному уравнению второго порядка

$$\frac{d^2r}{dt^2} + a_0 \frac{dr}{dt} - \frac{\varepsilon^2}{r^2} = 0. \quad (4)$$

Уравнения (2) и (4) определяют траекторию движения в радиальном сечении циклона. Результаты численного решения уравнения (2) для осевого пробега частиц представлены в [13], однако для циклона-сепаратора больший интерес представляет аналитическое решение уравнения (4). Его можно переписать в виде дифференциального уравнения первого порядка относительно радиальной скорости [14]

$$V \frac{dV}{dr} + a_0 V = \frac{\varepsilon^2}{r^2}, \quad (5)$$

которое, в свою очередь, приводится к уравнению Абеля второго рода

$$V \frac{dV}{dr_1} - V = -\frac{a_0 \varepsilon^2}{r_1^2} \quad (6)$$

путем замены переменной $r = -r_1/a_0$. Решение уравнения (6) известно и его можно записать в параметрической форме [15].

Однако в изложенном выводе не уточняется характер сил сопротивления и поэтому предполагается, что параметр a_0 является величиной постоянной. Возникновение сил сопротивления можно объяснять соударением частиц среды и разностью давлений ввиду разности скоростей потока газа на поверхности частиц. В первом приближении силы сопротивления пропорциональны градиенту тангенциальной скорости.

С учетом (3) имеем

$$|\text{grad}U| = \left| \frac{dU}{dr} \right| = \frac{\varepsilon}{2r^{1.5}},$$

тогда уравнение (5) запишется

$$V \frac{dV}{dr} + \frac{a}{r^{1.5}} V = \frac{\varepsilon^2}{r^2}, \quad (a = \text{const}),$$

а его решение можно представить в неявной форме:

$$\ln(V^2 r - 2aV\sqrt{r} + 2\varepsilon^2) + \frac{2a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}} \arctg\left(\frac{V\sqrt{r} - a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}}\right) + C = \ln r. \quad (7)$$

Примем следующее граничное условие: при $r = R - \delta$; $V = 0$,

где R – наружный радиус вращения потока частиц;

δ – толщина слоя потока частиц.

Тогда

$$C = \ln(R - \delta) - \ln(2\varepsilon^2) + \frac{2a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}} \arctg\left(\frac{a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}}\right),$$

а решение (7) примет вид:

$$\ln\left(\frac{V^2 r - 2aV\sqrt{r} + 2\varepsilon^2}{2\varepsilon^2} \cdot \frac{(R - \delta)}{r}\right) - \frac{2a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}} \arctg\left(\frac{V\sqrt{r} - a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}}\right) = 0. \quad (8)$$

На рисунке 5 показан график функции $V = f(r)$, построенный по выражению (8) при $\delta = 0,5R$, $\varepsilon = \sqrt{2}a$.

Здесь максимальное значение радиальной скорости обозначено $V_R = V(R)$.

При $r = R$ имеем:

$$\ln\left(\frac{V_R^2 R - 2aV_R\sqrt{R} + 2\varepsilon^2}{2\varepsilon^2} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{R}\right)\right) - \frac{2a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}} \arctg\left(\frac{V_R\sqrt{R} - a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}}\right) = 0. \quad (9)$$

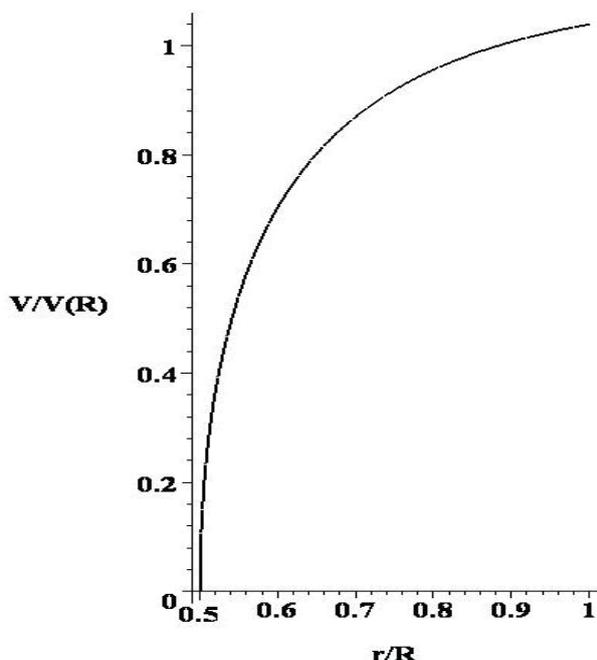


Рисунок 5 – Изменение радиальной скорости частиц в диаметральной сечении циклона

На рисунке 6 представлен график функции $V_R = f(R)$, построенный по выражению (9) при $\delta = 0,5R, \varepsilon = \sqrt{2}a$.

Таким образом, с увеличением радиуса циклона максимальная радиальная скорость частиц уменьшается.

В первом приближении при квазистационарном режиме массовая производительность циклона будет определяться

$$Q = kV_R R^2, \tag{10}$$

где k – постоянная, зависящая от геометрии сепаратора (приведенной поверхности решета) и плотности газопылевой среды, кг/м³.

Объединяя (9) и (10), получаем:

$$\frac{Q^2 / (k^2 R^3) - 2aQ / (kR^{1.5}) + 2\varepsilon^2}{2\varepsilon^2} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{R}\right) = \exp\left(\frac{2a}{\sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}} \arctg\left(\frac{Q / (kR^{1.5}) \cdot \sqrt{2\varepsilon^2 - a^2}}{aQ / (kR^{1.5}) - 2\varepsilon^2}\right)\right) \tag{11}$$

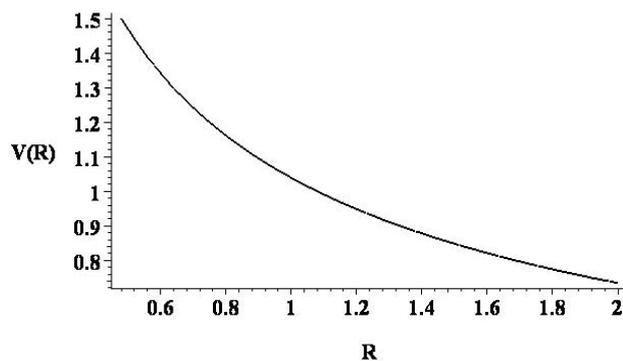


Рисунок 6 – Изменение максимальной радиальной скорости частиц в зависимости от радиуса циклона

На рисунке 7 изображен график функции (11) в диапазоне характеристик при $\varepsilon = 3...11 \text{ м}^{1.5}/\text{с}$ ($U = 6...16 \text{ м/с}$), $a = \varepsilon\sqrt{2}$, $k = 0,159...0,59 \text{ кг/м}^3$.

Так как функция $\delta = f(R)$ заранее не известна, представим ее в виде степенного ряда

$$\delta = \sum_{i=0}^n b_i R^i, \tag{12}$$

коэффициенты которого удастся задать лишь по эмпирическим данным.

Для трех экспериментальных точек ограничимся тремя членами ряда (12)

$$\delta = b_0 + b_1 R + b_2 R^2. \tag{13}$$

Совместное решение уравнений (11), (13) с экспериментальными данными (рис. 8) при дополнительном условии $\delta_{\max} < h = 0,2 \text{ м}$ (h – ширина входного сечения циклона) приводит к следующему значению коэффициентов:

$$b_0 = -0,3355 \text{ м}, b_1 = 2,6742, b_2 = -3,3173 \text{ м}^{-1}.$$

На рисунке 8 представлены также теоретические кривые $Q = f(R)$.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что теоретические кривые с различными механическими характеристиками газопылевой среды находятся в пределах доверительного интервала $\pm 5\%$ для экспериментальных данных, что свидетельствует об их согласовании.

Исследование на экстремум уравнения (11) с учетом (13) показало, что производительность циклона будет достигать максимального значения при $R_Q = -\frac{b_1}{\sqrt{3}b_2}$.

При данных кинематических коэффициентах максимальная производительность $Q_{\max} = 0,51 \text{ кг/с}$ будет при $R_Q = 0,465 \text{ м}$. В свою очередь эксперименты показали $Q_{\max} = 0,51 \text{ кг/с}$ при $R = 0,5 \text{ м}$, поэтому наличие экстремума требует дополнительной экспериментальной проверки.

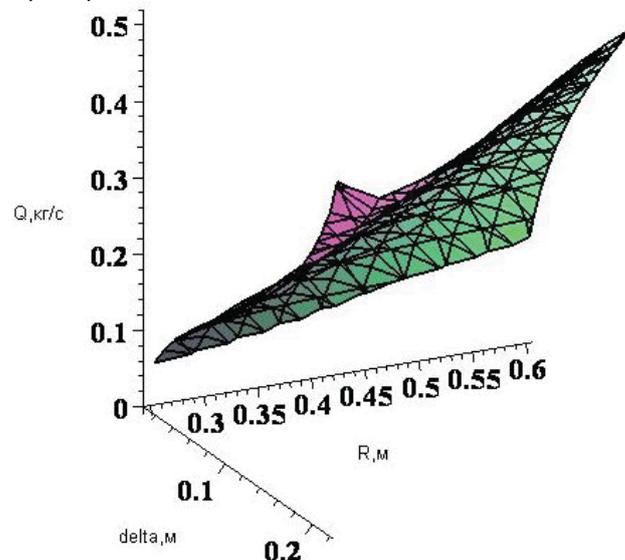


Рисунок 7 – Изменение производительности циклона в зависимости от его радиуса и толщины слоя потока частиц

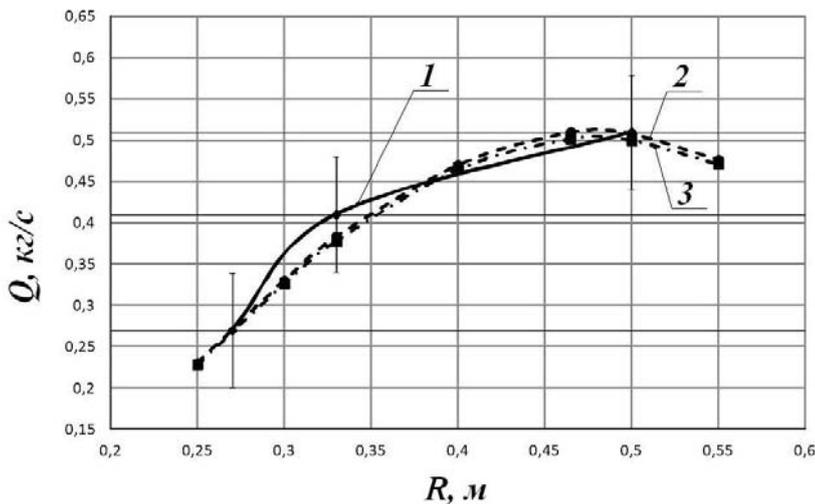


Рисунок 8 – Изменение производительности циклона-сепаратора в зависимости от его радиуса:

1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая

кривая $\varepsilon = 3 \frac{m^{1,5}}{c}, k = 0,59 \frac{kg}{m^3}$; 3 – теоретическая

кривая при $\varepsilon = 11 \frac{m^{1,5}}{c}, k = 0,159 \frac{kg}{m^3}$

Кроме того, полученные уравнения для скоростей и производительности процесса сепарации имеют самостоятельный теоретический интерес, так как их можно разрешать относительно других физико-механических и геометрических параметров.

Список литературы

1. Исследование конструкции и рабочего процесса всасывающе-нагнетательных дробилок зерна / А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко, Е.В. Широбокова [и др.] // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию - научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 14-17 фев. 2012 г. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – Т. 3. – С. 250-254.

2. Федоров, О.С. Повышение эффективности функционирования молотковой дробилки путем совершенствования способа сепарации: дис. ... канд. техн. наук / О.С. Федоров. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 136 с.

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

4. Мохнаткин, В.Г. Обоснование эффективности двухстадийного измельчения зерна в молотковых дробилках / В.Г. Мохнаткин // Механизация процессов в животноводстве и кормопроизводстве: сб. науч. тр. – Пермь, 1983. – С. 26–29.

5. Савиных, П.А. Модернизация дробилки зерна с дека-решетом / П.А. Савиных, Н.В. Турубанов, В.Л. Касьянов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 11. – С. 24–26.

6. Пат. №83946 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/00, Дробилка для фуражного зерна / В.И. Широбоков, Ф.Г. Стукалин, В.А. Жигалов, В.А. Николаев, О.С. Федоров; заявитель и патентообладатель

ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА – №2008141746/22; заявл.21.10.08; опубл.27.06.09, Бюл.№18 – 2с.: ил.

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

8. Механизация животноводства / под ред. С.В. Мельникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.

9. Стукалин, Ф.Г. Циклон-сепаратор / Ф.Г. Стукалин, В.И. Широбоков, В.А. Николаев // Материалы XIX научно-практической конференции Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – Ижевск: ШЕП, 1999.

10. Бастрогов, А.Г. Зависимость производительности дробилки от объема сепаратора / А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко, В.И. Широбоков // Вестник Ижевская государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4 (29). – С. 54-56.

11. Савиных, П.А. Теоретическое обоснование параметров цилиндрической части решета сепарирующего конуса дробилки зерна. / П.А. Савиных, О.С. Федоров, А.Г. Иванов // Аграрная наука Северо-Востока. – 2011. – № 5. – С. 64-69.

12. Савиных, П.А. Исследование движения измельченной частицы зерна в конической части сепарирующего решета «циклона-сепаратора» дробилки зерна / П.А. Савиных, О.С. Федоров, А.Г. Иванов // Аграрная наука Северо-Востока. – 2012. – № 1. – С. 60-63.

13. Асламова, В.С. Процессы сепарации в высокопроизводительных прямоточных циклонах и методы их расчета: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08; защищена 28.04.2009 / Асламова Вера Сергеевна. – Томск, 2009. – 40 с.

14. Дородов, П.В. Комплексный метод расчета и оптимального проектирования деталей машин с концентраторами напряжений: монография / П.В. Дородов. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 316 с.

15. Зайцев, В.Ф. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.

Spisok literatury

1. Issledovanie konstrukcii i rabocheho processa vsasyvajushhe-nagnetatel'nyh drobilok zerna / A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko, E.V. Shirobokova [i dr.] // Innovacionnomu razvitiju APK i agrarnomu obrazovaniju - nauchnoe obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 14-17 fev. 2012 g. – Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSXA, 2012. – Т. 3. – С. 250-254.

2. Fedorov, O.S. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovaniya molotkovoј drobilki putem sovershenstvovaniya sposoba separacii: dis. ... kand. tehn. nauk / O.S. Fedorov. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2010. – 136 s.
3. Mel'nikov, S.V. Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm: ucheb. dlja vuzov / S.V. Mel'nikov. – L.: Kolos, 1978. – 560 s.
4. Mohnatkin, V.G. Obosnovanie jeffektivnosti dvuhstadijnogo izmel'chenija zerna v molotkovyh drobilkah / V.G. Mohnatkin // Mehanizacija processov v zhivotnovodstve i kormoproizvodstve: sb. nauch. tr. – Perm', 1983. – S. 26–29.
5. Savinyh, P.A. Modernizacija drobilki zerna s dekareshetom / P.A. Savinyh, N.V. Turubanov, V.L. Kas'janov // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 2008. – № 11. – S. 24–26.
6. Pat. №83946 Rossijskaja Federacija, MPK V 02 S 13/00, Drobilka dlja furazhnogo zerna / V.I. Shirobokov, F.G. Stukalin, V.A. Zhigalov, V.A. Nikolaev, O.S. Fedorov; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Izhevskaja GSHA – №2008141746/22; zajavl.21.10.08; opubl.27.06.09, Bjul.№18 – 2s.: il.
7. Pat. №124190 Rossijskaja Federacija, MPK V 02 S 13/04, Drobilka dlja zerna / V.I. Shirobokov, V.A. Zhigalov, O.S. Fedorov, A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Izhevskaja GSHA – №2012121280/13; zajavl.23.05.12; opubl.20.01.13, Bjul.№2 – 2s.: il.
8. Mehanizacija zhivotnovodstva / pod red. S.V. Mel'nikova. – M.: Agropromizdat, 1985. – 336 s.
9. Stukalin, F.G. Ciklon-separator / F.G. Stukalin, V.I. Shirobokov, V.A. Nikolaev // Materialy XIX nauchno-prakticheskoј konferencii Izhevskoj gosudarstvennoј sel'skohozjajstvennoј akademii. – Izhevsk: ShEP, 1999.
10. Bastrigov, A.G. Zavisimost' proizvoditel'nosti drobilki ot ob#ema separatora / A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko, V.I. Shirobokov // Vestnik Izhevskaja gosudarstvennoј sel'skohozjajstvennoј akademii. – 2011. – № 4 (29). – S. 54–56.
11. Savinyh, P.A. Teoreticheskoe obosnovanie parametrov cilindricheskoј chasti resheta separirujushhego konusa drobilki zerna. / P.A. Savinyh, O.S. Fedorov, A.G. Ivanov // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2011. – № 5. – S. 64–69.
12. Savinyh, P.A. Issledovanie dvizhenija izmel'chennoј chasticy zerna v konicheskoј chasti separirujushhego resheta «ciklona-separatora» drobilki zerna / P.A. Savinyh, O.S. Fedorov, A.G. Ivanov // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2012. – № 1. – S. 60–63.
13. Aslamova, V.S. Processy separacii v vysokoproizvoditel'nyh prjamotochnyh ciklonah i metody ih rascheta: avtoreferat dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.17.08: zashhishhena 28.04.2009 / Aslamova Vera Sergeevna. – Tomsk, 2009. – 40 s.
14. Dorodov, P.V. Kompleksnyj metod rascheta i optimal'nogo proektirovaniya detalej mashin s koncentratorami naprjazhenij: monografija / P.V. Dorodov. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2014. – 316 s.
15. Zajcev, V.F. Spravochnik po obyknovennym differencial'nyh uravnenijam / V.F. Zajcev, A.D. Poljanin. – M.: Fizmatlit, 2001. – 576 s.

Сведения об авторах:

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

Дородов Павел Владимирович – доктор технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: pvd80@mail.ru).

Федоров Олег Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой 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: vlh150@rambler.ru).

A.G. Bastrigov, P.V. Dorodov, O.S. Fedorov, V.I. Shirobokov
Izhevsk State Agricultural Academy

JUSTIFICATION OF THE CYCLONE SEPARATOR CAPACITY FOR GRAIN CRUSHERS

In the engineering relation the studying of grain crushing process is of particular importance as this operation is the most power-intensive and expensive. The fractionation of the crushed material in the grain crushers takes place by means of replacement sieves of a separator. The grain crusher modernization by installation of a separator in a cyclone improves technical, economic and quality indicators. Pilot studies have shown the necessity of theoretical justification of the constructional dimensions and capacity or productivity of a cyclone with a separator. Therefore the purpose of the work is to increase capacity of a hammer grain crusher by the determination of optimum volume of a cyclone separator. The following problems are solved: to justify theoretically the constructional dimensions and capacity of a cyclone with a separator; to compare theoretical parameters with experimental ones. The theoretical research under the accepted assumptions provides an opportunity to establish the equations of a particle movement of "dust gas" under gravity, centrifugal force and resistance forces of the environment. The solution of the equation of a particle movement makes it possible to define a number of dependences: the change of radial speed of particles in the diametrical section of a cyclone; the change of the maximum radial speed of particles depending on the

cyclone radius; the shifts in productivity of a cyclone depending on its radius and layer thickness of a stream of particles. The comparative analysis of the theoretical dependence of cyclone separator productivity on its radius and the experimental data showed that theoretical curves with various mechanical characteristics of the gas-and-dust environment are in the limits of a confidence interval of 5%. The obtained equations for speeds and productivity of separation process have independent theoretical interest as they can be applied for the calculation of other physical, mechanical and geometrical parameters.

Key words: cyclone-separator; justification; speed; trajectory; diameter; productivity.

Authors:

Bastrigov Anatoliy Gennadievich – Assistant of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, tel. (3412) 58-99-30).

Dorodov Pavel Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, e-mail: pvd80@mail.ru).

Fedorov Oleg Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: fos1973@yandex.ru).

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

УДК 631.362.3: 635.21

А.Г. Иванов, Н.В. Крылов, П.Л. Максимов, О.С. Федоров, Ф.Р. Арсланов,
Р.Р. Шакиров, А.П. Ильин

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАРТОФЕЛЕСОРТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТРАНСПОРТЕРНОГО ТИПА

Транспортерные рабочие органы картофелесортирующих машин обладают простой конструкцией, имеют малую материалоемкость, обеспечивают низкую повреждаемость. Их работа существенно зависит от режимов движения, поэтому обоснование основных параметров и режимов работы данных устройств является актуальным. Целью исследований стала разработка сортирующего устройства транспортерного типа и метода расчета и обоснования его параметров и режимов работы. Решались следующие задачи: описать конструкцию предлагаемого сортирующего устройства транспортерного типа, определить требуемые режимы работы подающего транспортера, режимы работы транспортерного рабочего органа, длины участков выделения мелкой и средней фракций. Методика исследований основана на разработке математической модели работы сортирующего устройства транспортерного типа с использованием канонических методов теоретической механики и математики. Выявлено, что производительность подающего транспортера может быть существенно выше требований мелких фермерских хозяйств, занимающихся выращиванием картофеля. Предлагаемое сортирующее устройство транспортерного типа может быть встроено в технологическую линию картофелесортирующих пунктов крупных хозяйств и сельскохозяйственных производственных кооперативов. Ограничение скорости падения клубней картофеля, размеров зоны выгрузки позволяет снизить повреждаемость и повысить эффективную длину сортирующих участков транспортера. Предлагаемая методика расчета позволяет обосновать рациональные параметры и режимы работы подобной сортировки для обеспечения достаточной производительности и точности калибрования: при скорости подающего транспортера 0,4 м/с производительность составляет 22,5 т/ч. Скорость падения клубней на мягкую резиновую ленту не более 2,4 м/с, при длине зоны загрузки на рабочий орган 0,1 м. Скорость ленты сортирующего устройства 0,44 м/с. Длина участка выделения мелкой фракции 1,12 м, для выделения средней фракции остается длина 0,78 м.

Ключевые слова: картофель; сортировка; сепарирующая поверхность; калибрующий пролет.

Актуальность. Средняя урожайность картофеля в России по всем категориям хозяйств составляет 120–140 ц/га, что в 3–4 раза ниже урожайности данной культуры, чем в Англии, Голландии, Германии, Финляндии, и не наблюдается тенденция повышения урожайности, как в

личных подсобных хозяйствах, так и в сельхозпредприятиях. Это объясняется тем, что экономическое состояние личных и большинства коллективных хозяйств не позволяет на должном уровне поддерживать плодородие почвы и закупать посадочный материал хорошего качества [12].

Проведение сортировки картофеля позволяет отделить зараженные клубни, повысить качество посадки за счет снижения пропусков высевающих аппаратов и в итоге получить хороший урожай.

В процессе работы сортировочного устройства основное воздействие на клубни картофеля исходит со стороны рабочих органов, поэтому упругие поверхности рабочих органов резко снижают повреждения клубней [8, 10, 11, 14].

Транспортерные рабочие органы картофелесортирующих машин обладают простой конструкцией, имеют малую материалоемкость, эластичны, не подвержены динамическим воздействиям, обеспечивают низкую повреждаемость, по сравнению с барабанными, грохотными и роликowymi рабочими органами [2, 3, 6, 9]. Кроме того, их сразу можно использовать в качестве переборочного стола, удаляя примеси и некондиционные клубни картофеля (гнилые или резанные), не вводя в технологическую цепочку еще одну машину [13, 15].

Работа подобных устройств существенно зависит от режимов движения, поэтому обоснование основных параметров и режимов работы предлагаемого устройства является актуальной задачей.

Целью исследований являлась разработка сортирующего устройства транспортерного типа; разработка метода расчета и обоснования параметров и режимов работы предлагаемого сортирующего устройства. Решались следующие **задачи**: описать конструкцию пред-

лагаемого сортирующего устройства транспортерного типа, определить требуемые режимы работы подающего транспортера, режимы работы транспортерного рабочего органа, длины участков выделения мелкой и средней фракций.

Существующие в достаточно большом количестве хозяйств старые комплексы КСП-15Б имеют в своем составе роликowe картофелесортировки РКС-10. Предлагается в качестве основы взять раму существующего комплекса КСП-15Б и на нее установить новый рабочий орган комбинированного типа (рис. 1) [3, 5, 6].

В качестве калибрующей поверхности рабочего органа предлагается использовать транспортер с бесконечной лентой, имеющей щелевые отверстия (рис. 2).

Щелевая форма отверстий наиболее полно отвечает условиям разделения вороха картофеля на фракции по наименьшему поперечному диаметру клубня. При этом щелевые отверстия имеют наиболее высокую вероятность для прохождения клубней картофеля через них [1, 2, 6].

Однако наряду с указанными достоинствами можно отметить и присущие транспортерным рабочим органам и недостатки:

- отсутствие динамического воздействия на ворох препятствует относительному движению клубней по поверхности ленты, основному условию надежного ориентирования клубней в калибрующих отверстиях;
- размеры щелевых отверстий не регулируются, то есть один рабочий орган позволяет разделить ворох только на 2 фракции.

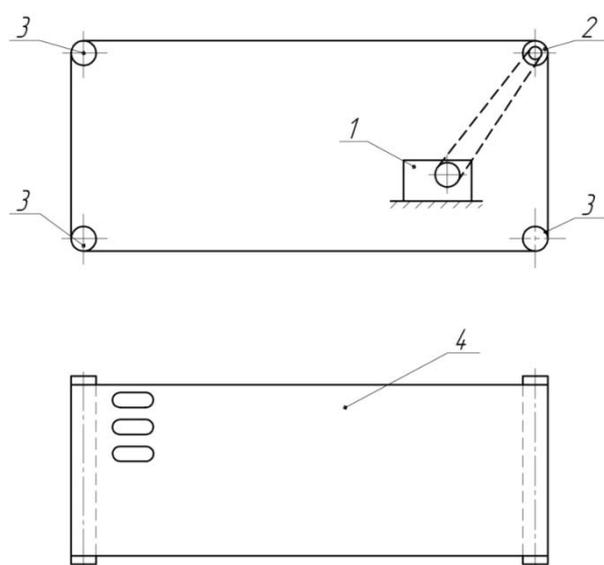


Рисунок 1 – Схема картофелесортировки транспортерного типа: 1 – привод; 2 – ведущий барабан; 3 – поддерживающий барабан; 4 – транспортерная лента



Рисунок 2 – Рабочий орган транспортерного типа с щелевыми отверстиями

Предлагаемая конструкция выполнена с учетом исключения вышеупомянутых недостатков, а именно для отделения картофельного вороха на три фракции на одном участке установлено решето для уменьшения калибрующего просвета сортирующего полотна. Плужковые рассеиватели, установленные над рабочей поверхностью, обеспечивают равномерное распределение вороха и небольшое торможение картофеля для более качественного отделения всех фракций.

Материал и методы исследования. Методика исследований основана на разработке математической модели работы сортирующего устройства транспортерного типа с использованием канонических методов теоретической механики и математики.

Предлагаемая машина предназначена в первую очередь для сельскохозяйственных предприятий, имеющих небольшие площади под картофель (не более 20-50 га). При урожайности картофеля 200...300 ц/га получается валовой сбор 400...1500 тонн. При условиях уборки и закладки на хранение в течение 2 недель производительность установки (при 2-сменном режиме работы) должна быть не меньше 6,7 т/ч, или 1,86 кг/с.

Результаты исследования. Проектируемый рабочий орган необходимо вписать в существующую раму, поэтому длина транспортера L (его горизонтального участка) и его ширина заданы: $L = 2$ м; $B_H = 0,8$ м. Ширина подающего транспортера также составляет $B_H = 0,8$ м, что объясняется требованием распределения вороха по ширине.

Производительность наклонного ленточно-го конвейера с планками определяется выражением

$$q = \psi \gamma h B_H v, \quad (1)$$

где q – производительность транспортера, кг/с;

ψ – коэффициент заполнения объема между планками;

γ – насыпная плотность вороха картофеля, кг/м³;

h – высота планки, м;

B_H – ширина ленты, м;

v – скорость ленты, м/с.

Для вороха картофеля насыпная плотность принимает значение $\gamma = 650...750$ кг/м³ [3]. При угле наклона ленточного транспортера $\alpha = 60^\circ$ коэффициент $\psi = 0,28$. Скорость ленты из условия снижения повреждаемости клубней не должна превышать 1 м/с [2]. Но следует учесть, что при сходе вороха картофеля с подающего транспортера следует уменьшать горизонтальную составляющую скорости, так как за счет нее клубни будут падать далеко вперед и уве-

личивать площадь зоны загрузки рабочего органа. В свою очередь увеличение зоны загрузки снижает длину рабочих участков для разделения клубней и, следовательно, уменьшает точность калибрования.

Рассмотрим клубень картофеля, который сходит с подающего транспортера со скоростью v . Когда клубень переваливает через верхнюю точку поверхности подающего транспортера, он начинает скатываться вниз под действием силы тяжести до тех пор, пока не оторвется от поверхности ленты (рис. 3).

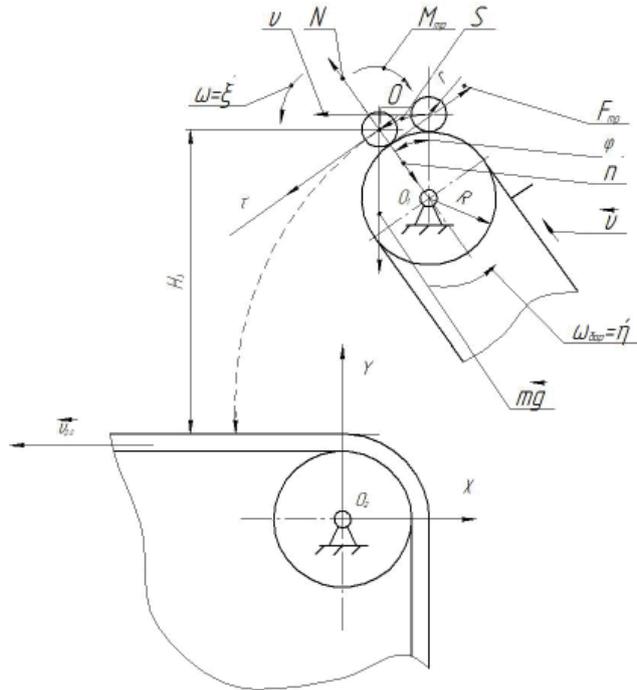


Рисунок 3 – Расчетная схема зоны загрузки рабочего органа

Взаимодействие клубня с поверхностью подающего транспортера является голономной неупругой нестационарной связью. Так как клубень катится вокруг поверхности цилиндрического барабана с радиусом $R = 0,08$ м, то введем естественную систему координат, связанную с барабаном питающего транспортера. Касательную ось Ox направим по касательной к траектории центра масс клубня, нормальную ось Oy направим к центру барабана [1, 4, 7].

Клубень катится по вращающемуся барабану под действием силы тяжести $m\vec{g}$, силы трения $\vec{F}_{тр}$, нормальной реакции \vec{N} . Из-за деформации поверхности клубня, а также ленты транспортера на клубень действует момент трения качения $M_{тр}$. Для определения положения центра масс клубня O введем угол поворота радиус-вектора φ , что является достаточным для системы с одной степенью свободы. Записываем уравнение движения клуб-

ня по вращающемуся барабану в естественной форме

$$\begin{cases} \sum F_{\tau} = ma^{\tau}; m(R+r)\ddot{\varphi} = mg \sin \varphi - F_{mp}; \\ \sum F_n = ma^n; m(R+r)\dot{\varphi}^2 = mg \cos \varphi - N; \end{cases} \quad (2)$$

где R – радиус барабана, м;

r – радиус шарообразного клубня, м;

$\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – соответственно угловая скорость и угловое ускорение поворота радиус-вектора;

m – масса клубня, кг.

Запишем дифференциальное уравнение динамики вращательного движения

$$I\ddot{\xi} = F_{тр}r - M_{тр}; \quad (3)$$

где I – момент инерции шарообразного клубня, кг·м²;

$\ddot{\xi}$ – угловое ускорение собственного вращения клубня, рад/с².

Кинематическая связь при скатывании клубня без проскальзывания относительно транспортера имеет вид

$$\varphi(R+r) = \eta R + \xi r; \quad (4)$$

где η – угол поворота барабана питающего транспортера, рад.

Дважды дифференцируем выражение (4), выражаем $\ddot{\xi}$, учитывая, что барабан питающего транспортера вращается с постоянной угловой скоростью. Подставляя угловое ускорение $\ddot{\xi}$ в уравнение (3), выражаем силу трения:

$$F_{тр} = I\ddot{\varphi} \frac{R+r}{r^2} + \frac{M_{тр}}{r}.$$

Отношение коэффициента трения к радиусу называется приведенным коэффициентом $f' = \delta / r$, тогда

$$F_{тр} = I\ddot{\varphi} \frac{R+r}{r^2} + f'N. \quad (5)$$

Нормальную реакцию выражаем из второго уравнения системы (2)

$$N = mg \cos \varphi - m(R+r)\dot{\varphi}^2. \quad (6)$$

Подставляем выражения (7) и (8) в первое уравнение системы (2) и после преобразования получаем линейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$\ddot{\varphi} + f'\dot{\varphi}^2 \left(\frac{1}{1 + \frac{I}{mr^2}} \right) - g \frac{\sin \varphi + f' \cos \varphi}{\left(1 + \frac{I}{mr^2} \right) (R+r)} = 0.$$

Уравнение допускает понижение порядка, если ввести новую функцию $P = \dot{\varphi}^2$, тогда получим

$$\frac{1}{2} \frac{dP}{d\varphi} + AP = B(\sin \varphi + f' \cos \varphi),$$

где $A = f' \left(\frac{1}{1 + \frac{I}{mr^2}} \right)$, $B = \frac{g}{\left(1 + \frac{I}{mr^2} \right) (R+r)}$. (7)

Уравнение (9) является линейным неоднородным, решение будем искать в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения: $P = \bar{P} + P^*$.

Приравняем правую часть уравнения (9) к нулю: $\frac{1}{2} \frac{dP}{d\varphi} + AP = 0$.

Решение однородного уравнения имеет вид

$$\ln|\bar{P}| = -2A\varphi + C_1,$$

где C_1 – постоянная интегрирования. После преобразования получим $\bar{P} + P_0 e^{2A(\varphi_0 - \varphi)}$, где P_0 – начальное значение функции при начальном угле φ_0 .

Частное решение неоднородного уравнения примет вид

$$P^* = D \sin \varphi + E \cos \varphi,$$

где D и E – неопределенные коэффициенты.

Берем производную $\frac{dP^*}{d\varphi}$ и подставляем в уравнение (7), приводим подобные и находим коэффициенты D и E , тогда:

$$\begin{cases} AD - \frac{1}{2}E = B & D = \frac{2B(2A + f')}{4A^2 + 1}, \\ AE + \frac{1}{2}D = Bf' & E = B \left(\frac{4A^2 + 4Af' - 1}{4A^2 + 1} \right). \end{cases}$$

Общее решение дифференциального уравнения (7) примет вид

$$P = P_0 e^{2A(\varphi_0 - \varphi)} + \frac{2B(2A + f')}{4A^2 + 1} \sin \varphi + B \left(\frac{4A^2 + 4Af' - 1}{4A^2 + 1} \right) \cos \varphi. \quad (8)$$

Из начального условия, что при угле $\varphi = \varphi_0 = 0$ скорость центра масс клубня равна скорости подающего транспортера v , находим

$$P_0 = \left(\frac{v}{R+r} \right)^2 - B \left(\frac{4A^2 + 4Af' - 1}{4A^2 + 1} \right).$$

Скорость центра масс $V_0 = \dot{\varphi}(R+r)$,

$$\dot{\varphi} = \sqrt{P_0 e^{-2A\varphi} + \frac{2B(2A + f')}{4A^2 + 1} \sin \varphi + B \frac{4A^2 + 4Af' - 1}{4A^2 + 1} \cos \varphi}. \quad (9)$$

Расчет по формуле (9) ведем до тех пор, пока не произойдет отрыв клубня от барабана транспортера, то есть нормальная реакция N , определяемая по формуле (6), не станет равной нулю.

Результаты расчетов показали, что отрыв клубней происходит при угле $\varphi = 58^\circ$, отсчитываемом от вертикали. Затем клубень свободно падает с высоты загрузки $H_3 = 0,28$ м и пролетает расстояние l .

Рассмотрим падение груза, брошенного с некоторой высоты. Записываем уравнение свободного падения груза: $x = v_x t$, $y = y_0 - v_y t - \frac{gt^2}{2}$.

Причем начальная скорость груза определена на предыдущем этапе расчетов и обозначена v_n : $v_x = v_n \cos \varphi$, $v_y = v_n \sin \varphi$, где $\varphi = 58^\circ$ – угол, при котором происходит отрыв от поверхности барабана.

Из начальных условий $t_0 = 0$, $y_0 = H_3$ найдем время падения до плоскости рабочего органа ($y = 0$)

$$t = \frac{\sqrt{v_n^2 \sin^2 \varphi + 2gH_3} - v_n \sin \varphi}{g} \quad (10)$$

Путь, пройденный клубнем по горизонтали

$$l = v_n \cos \varphi \cdot t \quad (11)$$

Ограничим длину l по технологическим соображениям с целью уменьшить зону загрузки рабочего органа до $l = 0,1$ м, тогда скорость подающего транспортера, выраженная из формулы (11), с учетом (10)

$$v_n = \frac{l}{t \cos \varphi} = \frac{l \cdot g}{(\sqrt{v_n^2 \sin^2 \varphi + 2gH_3} - v_n \sin \varphi) \cos \varphi} \quad (12)$$

Расчет производят методом последовательного приближения. При различных размерах клубней получаем скорость транспортера $v = 0,4$ м/с, скорость клубня в момент схода с транспортера $v_n = 0,42 \dots 0,48$ м/с. Подставив все значения в формулу (10), получим $t = 0,205 \dots 0,201$ с.

Отметим, что скорость клубня в момент соударения с рабочим органом составляет величину $\vec{v}_k = \vec{v}_x + \vec{v}_y$, где v_k – абсолютная скорость клубня в момент удара, м/с; v_x , v_y – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости, м/с.

$$v_x = v_n \cos \varphi = 0,222 \dots 0,254 \text{ м/с,}$$

$$v_y = -v_n \sin \varphi - gt = 2,367 \dots 2,380 \text{ м/с.}$$

Модуль абсолютной скорости:

$$v_k = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 2,377 \dots 2,394 \text{ м/с,}$$

угол соударения по отношению к вертикали:

$$\beta = \arctg \frac{v_y}{v_x} = 84,64^\circ \dots 83,91^\circ.$$

Так как падение происходит на мягкое основание – резиновую ленту, то повреждения клубней не происходит.

С учетом скорости ленты $v=0,4$ м/с, рассчитываем производительность по формуле (1): $q = 0,28 \cdot 700 \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 6,3$ кг/с (22,5 т/ч).

Учтем, что для предотвращения сгущивания материала толстым слоем в несколько клубней, на поверхности рабочего органа следует увеличить скорость калибрующего транспортера по сравнению с подающим на 10-15%. Таким образом, примем скорость рабочего органа $v_{p.o.} = 1,1v = 0,44$ м/с.

Проделав все расчеты, установили, что скорость ленты подающего транспортера $v=0,4$ м/с обеспечит производительность $q=6,3$ кг/с (22,5 т/ч), что превышает заданные требования в 3,7 раза. Это позволяет использовать предлагаемую машину в хозяйствах с большими площадями под возделывание картофеля.

Картофелесортировка с транспортерным рабочим органом имеет последовательную схему выделения фракции (рис. 4).

Однако в ворохе картофеля, по данным [2], крупная фракция составляет до 50% по массе. Следовательно, первый участок, где происходит выделение мелкой фракции, нагружен интенсивнее всего. Мелким клубням следует успеть сориентироваться в отверстиях рабочего органа, для этого необходимо обеспечить надежное рассредоточение клубней по поверхности ленты и достаточную длину рабочего участка.

В ленте пробиты щелевые отверстия, шаг расположения которых составляет по длине $a = 0,24$ м, по ширине $b = 0,0825$ м (рис. 4). На участке выделения мелкой фракции ширина отверстия регулируется механическим способом при помощи планок, расположенных под транспортером (рис. 1).

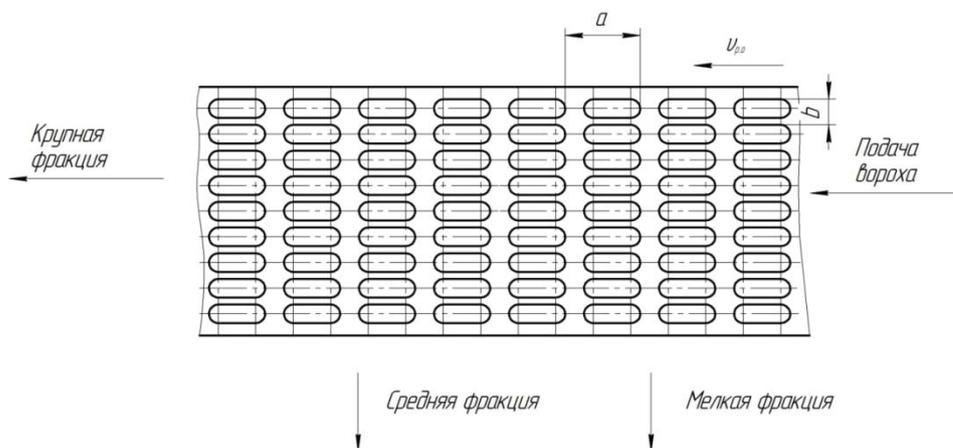


Рисунок 4 – Последовательная схема выделения фракции вороха картофеля на транспортерном рабочем органе

В работе [4] предлагается универсальная формула определения длины участка, необходимого для выделения нужной фракции картофеля,

$$L_1 = a \frac{qk}{v_{p.o.} m_c Z_k}, \quad (13)$$

где a – шаг расположения отверстий в ленте по длине, м;

q – производительность машины, кг/с;

k – коэффициент, учитывающий долю клубней мелкой фракции в ворохе картофеля по объему;

$v_{p.o.}$ – скорость рабочего органа сортировки, м/с;

m_c – средняя масса клубней, находящаяся на участке рабочего органа длиной a , кг;

Z_k – среднее количество клубней, находящаяся на участке длиной a .

При $a = 0,24$ м; $k = 0,14$; $m_c = 0,11$ кг; $Z_k = 5$;

$$L_1 = 0,28 \frac{6,9 \cdot 0,14}{0,44 \cdot 0,11 \cdot 5} = 1,12 \text{ м.}$$

Общая длина рабочего участка транспортера $L = 1,90$ м, тогда на второй участок приходится: $L_2 = L - L_1 = 1,9 - 1,12 = 0,78$ м.

Выводы:

1. Предложена конструкция сортирующего устройства транспортерного типа, в котором одним рабочим органом с щелевыми отверстиями с помощью регулировочного решета удается выделить три фракции из вороха клубней картофеля.

2. Предлагаемая методика расчета позволяет обосновать рациональные параметры и режимы работы подобной сортировки для обеспечения достаточной производительности и точности калибрования: при скорости подающего транспортера 0,4 м/с производительность составляет 22,5 т/ч. Скорость падения клубней на мягкую резиновую ленту не превышает 2,4 м/с. Длина транспортера конструктивно принята равной 1,9 м, длина зоны загрузки на рабочий орган ограничена до величины 0,1 м. Скорость ленты сортирующего устройства 0,44 м/с. Длина участка выделения мелкой фракции 1,12 м, для выделения средней фракции остается длина 0,78 м.

Список литературы

1. Иванов, А.Г. Анализ рабочего процесса дисковой картофелесортировки / А.Г. Иванов, А.В. Костин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 5. – С. 72-74.

2. Колчин, Н.Н. Комплекс машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268 с.

3. Крылов, Н.В. Новый рабочий орган для сортирования картофеля / Н.В. Крылов, П.Л. Максимов

// Инновации в науке, технике и технологиях: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – 2014. – С. 127-129.

4. Максимов, П.Л. Параметры конструкции барабанной сортировки / П.Л. Максимов, С.П. Игнатъев // Тракторы и сельхозмашины. – 2003. – № 7. – С. 35-37.

5. Максимов, П.Л. Компактная машина для послеуборочной доработки клубней картофеля / П.Л. Максимов, Н.В. Крылов, А.В. Поздеев // Инновационные технологии в сельскохозяйственном производстве, пищевой и перерабатывающей промышленности: материалы Международной научно-практической конференции, проходившей в рамках IV этапа Евразийского экономического форума молодежи «ДИАЛОГ ЦИВИЛИЗАЦИЙ - YOUTH GLOBAL MIND», направление Евразия как территория здоровья. – 2013. – С. 103-105.

6. Максимов, П.Л. Сортирующее устройство транспортерного типа для клубней картофеля / П.Л. Максимов, А.В. Поздеев, Н.В. Крылов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 12. – С. 15-16.

7. Тютин, И.Э. Параметры и режимы работы картофелесортировки барабанного типа / И.Э. Тютин, А.Г. Иванов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8. – С. 38-39.

8. Пат. 135224 U1 Российская Федерация, МПК A01D13/00 Картофелекопатель / Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Зверев Н.П., Салимзянов М.З., Фатыхов И.Ш., Корепанов Ю.Г., Касимов Н.Г., Арсланов Ф.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская гос. с.-х. академия. // № 2013113202/13; заявл. 25.03.13; опубл. 10.12.13, Бюл. № 34. – 3 с.

9. Васильченко, М.Ю. Основные направления развития технических средств для сортировки клубней картофеля / М.Ю. Васильченко, М.Г. Сапегин // Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства: материалы юбилейной научно-практической конференции «55 лет высшему агроинженерному образованию в Удмуртии». – Ижевск, 2010. – С. 101-107.

10. Применение стеклопластиковых прутков на элеваторах картофелеуборочных машин / В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3 (44). – С. 43-47.

11. Васильченко, М.Ю. Математическая модель движения клубня картофеля по решетку грохота / М.Ю. Васильченко, О.Б. Поробова, А.А. Сергеев // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3 (48). – С. 50-55.

12. Первушин, В.Ф. Повышение эффективности механизированной технологии возделывания картофеля в условиях малых форм хозяйствования (фермерские и личные подсобные хозяйства населения): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / В.Ф. Первушин; Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – М., 2001. – 36 с.

13. Лебедев, Л.Я. Ресурсосберегающая технология обработки картофеля / Л.Я. Лебедев, А.Г. Ива-

нов, И.Г. Мухаметшин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 36. – № 2-2. – С. 21.

14. Ламм, М.И. Контактные повреждения картофеля / М.И. Ламм // Исследование и расчет технологических процессов корнеклубнеуборочных машин и их рабочих органов: Тр. ВИСХОМ. – М., 1969. – Вып. 58. – С. 290-311.

15. Кучумов, А.В. Источники потерь картофеля и борьба с ними / А.В. Кучумов, В.А. Князев. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1975. – 51 с.

Spisok literatury

1. Ivanov, A.G. Analiz rabocheho processa diskovoj kartofelesortirovki / A.G. Ivanov, A.V. Kostin // Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja. – 2008. – № 5. – S. 72-74.

2. Kolchin, N.N. Kompleks mashin i oborudovanija dlja posleuborochnoj obrabotki kartofelja i ovoshhej / N.N. Kolchin. – М.: Mashinostroenie, 1982. – 268 s.

3. Krylov, N.V. Novyj rabochij organ dlja sortirovani-ja kartofelja / N.V. Krylov, P.L. Maksimov // Innovacii v nauke, tehnike i tehnologijah: sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2014. – S. 127-129.

4. Maksimov, P.L. Parametry konstrukcii baraban-noj sortirovki / P.L. Maksimov, S.P. Ignat'ev // Traktory i sel'hozmashiny. – 2003. – № 7. – S. 35-37.

5. Maksimov, P.L. Kompaktnaja mashina dlja posleu-borochnoj dorabotki klubnej kartofelja / P.L. Maksimov, N.V. Krylov, A.V. Pozdeev // Innovacionnye tehnologii v sel'skohozjajstvennom proizvodstve, pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, prohodivshej v ramkah IV jetapa Evrazijskogo jekonomicheskogo foruma molodezhi «DIALOG CIVILIZACIJ - YOUTH GLOBAL MIND», napravlenie Evrazija kak territorija zdorov'ja. – 2013. – S. 103-105.

6. Maksimov, P.L. Sortirujushhee ustrojstvo trans-портного типа dlja klubnej kartofelja / P.L. Maksimov, A.V. Pozdeev, N.V. Krylov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – № 12. – S. 15-16.

7. Tjutin, I. Je. Parametry i rezhimy raboty kartofele-sortirovki barabannogo tipa / I. Je. Tjutin, A.G. Ivanov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2013. – № 8. – S. 38-39.

8. Pat. 135224 U1 Rossijskaja Federacija, МРК А01D13/00 Kartofelekopatel' / Pervushin V.F., Levshin A.G., Zverev N.P., Salimzjanov M.Z., Fatyhov I.Sh., Korepanov Ju.G., Kasimov N.G., Arslanov F.R.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Izhevskaja gos. s.-h. akademija. // № 2013113202/13; zajavl. 25.03.13; opubl. 10.12.13, Bjul. № 34. – 3 s.

9. Vasil'chenko, M. Ju. Osnovnye napravlenija razviti-ja tehniceskikh sredstv dlja sortirovki klubnej kartofelja / M. Ju. Vasil'chenko, M. G. Sapegin // Aktual'nye problemy mehanizacii sel'skogo hozjajstva: materialy jubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «55 let vysshemu agroinzhenernomu obrazovaniju v Udmurtii». – Izhevsk, 2010. – S. 101-107.

10. Primenenie stekloplastikovyh prutkov na jel-evatorah kartofeleuborochnyh mashin / V.F. Pervushin, M.Z. Salimzjanov, N.G. Kasimov [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2015. – № 3 (44). – S. 43-47.

11. Vasil'chenko, M. Ju. Matematicheskaja model' dvizenija klubnja kartofelja po reshetu grohota / M. Ju. Vasil'chenko, O.B. Porobova, A.A. Sergeev // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 3 (48). – S. 50-55.

12. Pervushin, V.F. Povyshenie jeffektivnosti mehanizirovannoj tehnologii vzdelyvanija kartofelja v uslovijah malyh form hozjajstvovanija (fermerskie i lichnye podsobnye hozjajstva naselenija): avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.01 / V.F. Pervushin; Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina. – М., 2001. – 36 s.

13. Lebedev, L. Ja. Resursoberegajushhaja tehnologija obrabotki kartofelja / L. Ja. Lebedev, A.G. Ivanov, I.G. Muhametshin // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2015. – Т. 36. – № 2-2. – S. 21.

14. Lamm, M.I. Kontaktnye povrezhdenija kartofelja / M.I. Lamm // Issledovanie i raschet tehnologicheskikh processov korneklubneuborochnyh mashin i ih rabo-chih organov: Tr. VISHOM. – М., 1969. – Vyp. 58. – S. 290-311.

15. Kuchumov, A.V. Istochniki poter' kartofelja i bor'ba s nimi / A.V. Kuchumov, V.A. Knjazev. – М.: VNIITJeISH, 1975. – 51 s.

Сведения об авторах:

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

Крылов Николай Витальевич – аспирант кафедры тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

Максимов Павел Леонидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. 8(3412) 59-24-23).

Федоров Олег Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Арсланов Фанис Рашидович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. 8(3412) 58-99-30).

Шакиров Ренат Равилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. 8(3412) 58-99-30).

Ильин Алексей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые двигатели и установки». ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Песочная, 46, тел. 8(3412) 77-60-55).

A.G. Ivanov, N.V. Krylov, P.L. Maksimov, O.S. Fedorov, F.R. Arslanov, R.R. Shakirov, A.P. Ilyin
Izhevsk State Agricultural Academy

JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODES OF POTATO SORTER OF CONVEYOR TYPE

The conveyor operating devices of potato sorters have a simple design, little materials intensity, and provide low damageability. Their operation significantly depends on the modes of motion so the justification of critical parameters and operating modes of these devices is an urgent task. The research purpose was the development of the sorting device of conveyor type, the development of a calculation method and justification of parameters and operating modes of the sorting device. The following problems were solved: to describe a design of the proposed sorting device of conveyor type; to define the required operating modes of the feed conveyor, the operating modes of the conveyor operating device, the section length of allocation of small and average fractions. The research technique is based on the development of a mathematical model of the sorting device operation of conveyor type applying the canonical methods of theoretical mechanics and mathematics. It was revealed that productivity of the feed conveyor can be significantly higher than requirements of the small farms cultivating potatoes. The proposed sorting device of conveyor type can be incorporated into the operational line of potato sorting centers of large-scale enterprises and agricultural production cooperatives. The limitation of falling speed of potato tubers, the sizes of unloading zones provides an opportunity to reduce damageability and to increase the effective length of the sorting sites of the conveyor. The suggested calculation procedure provides an opportunity to justify the rational parameters and operating modes of similar sorting for ensuring sufficient productivity and accuracy of calibration: at a speed of feed conveyor of 0.4 m/s productivity makes 22.5 t/h. The speed of falling of tubers on a soft rubber tape is not more than 2.4 m/s, with a loading zone length on operating device 0.1 m. The speed of a tape of the sorting device is 0.44 m/s. The section length of allocation of small fraction is 1.12 m, the length of 0.78 m remains for allocation of average fraction.

Key words: potatoes; sorting; the separating surface; the calibrating opening.

Authors:

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

Krylov Nikolay Vitalievich – postgraduate of the Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. 8(3412) 58-99-30).

Maksimov Pavel Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of of the Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 59-24-23).

Fedorov Oleg Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, the Head of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: fos1973@yandex.ru).

Arslanov Fanis Rashidovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. 8(3412) 58-99-30).

Shakirov Renat Ravilevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. 8(3412) 58-99-30).

Ilyin Aleksey Petrovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Department of Heat Engines and Plants. Kalashnikov Izhevsk State Technical University (46, Pesochnaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. 8(3412) 77-60-55).

УДК 619:616.98:578.831.31-085.37:636.4

Н.П. Кондратьева¹, А.П. Коломиец², Р.Г. Большин¹, М.Г. Краснолуцкая¹¹ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА;²ОАО «Росагроснаб»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ФИТОУСТАНОВОК (LED-ФИТОУСТАНОВОК) В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

Приведены результаты опытов по облучению меристемных растений картофеля светодиодными фитоустановками (LED-фитоустановками), состоящими из разных по цвету светодиодов. В основу исследований положена гипотеза о том, что для повышения продуктивности культуры иноземного происхождения необходимо, в первую очередь, сымитировать дозы спектральной плотности зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР) генетической родины растения. Для реализации этого утверждения мы, используя инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации «CoDeSys», разработали программы для программируемых логических контроллеров (ПЛК), с помощью которых происходит управление работой LED-фитоустановок для имитации доз спектральных составляющих зоны ФАР любой географической местности в течение требуемого периода времени.

Ключевые слова: меристемный картофель; фотосинтетически активная радиация (ФАР); генетическая родина растений; светодиодные фитоустановки; LED-фитоустановки; программируемые логические контроллеры (ПЛК); спектральная плотность излучения; программный комплекс «CoDeSys».

Введение. Картофель является во многих странах «вторым хлебом». Обычно эта культура размножается вегетативно с помощью клубней, но этот метод имеет недостатки, в том числе восприимчивость к вирусным, бактериальным и грибным болезням, существенно уменьшающим урожай. Для избавления посадочного материала картофеля от вирусов используется меристемная культура, позволяющая получать большое количество безвирусного посадочного материала в короткие сроки. Например, из одного здорового меристемного растения за полгода можно получить до 40 тысяч точных генетических копий растений, не зараженных инфекциями. При этом урожайность такого картофеля составляет 10...15 кг/м² [1-3].

Анализ специальной литературы показал, что осветительными установками расходуется около 30% всей генерируемой в стране электрической энергии. Поэтому эффективное расходование электрической энергии каждой LED-фитоустановкой приведет к ощутимой экономии [4, 5].

Эффективное использование световой энергии в растениеводстве защищенного грунта зависит от спектрального состава LED-фитоустановок, величины освещенности (облученности) и продолжительности суточного облучения растений (фотопериода).

К.А. Тимирязев подчеркивал, что важнейшая задача физиологии растений – найти пути для того, чтобы «вырастить два колоса там, где растет один». Для выполнения этой

задачи необходимо научиться управлять фотосинтетической деятельностью растений. В первую очередь на процесс фотосинтеза оказывает влияние солнечное излучение, температура, содержания CO₂ в воздухе; обеспеченность водой и т.д. В защищенном грунте эти параметры поддерживаются и контролируются в требуемых пределах. Но принимая во внимание тот факт, что до 95% урожая культур формируется за счет усвоенной энергии ФАР, то необходимо добиться того, чтобы растения как можно эффективнее использовали энергию этого диапазона в LED-фитоустановках. Ввиду того, что растение является аккумулятивным биообъектом, то есть его развитие зависит от накопленной дозы спектральных составляющих ФАР, необходимо научно обосновать наиболее эффективный спектр излучения LED-фитоустановок для меристемного картофеля, позволяющий получить максимальный выход продукции при минимальных затратах [1].

В Удмуртской Республике семеноводством картофеля на меристемной основе занимается Удмуртской НИИ сельского хозяйства, в меристемных лабораториях которого используются люминесцентные лампы типа ЛБ 80. Колбы ламп изнутри покрыты люминофором, что не позволяет менять спектр излучения. Поэтому для повышения продуктивности меристемных растений необходимо на основе новых научно обоснованных разработок создать наиболее эффективные по спектру светодиодные фито-

установки (LED-фитоустановки), позволяющие увеличить выход продукции и снизить энергетические затраты.

В настоящее время светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент LED-фитоустановок с возможностью изменения спектрального состава, но в основном ручным способом. На продуктивность растений, в том числе и на фотосинтез в первую очередь оказывает влияние доза спектральных составляющих зоны ФАР. Применяя программируемые логические контроллеры (ПЛК), можно управлять LED-фитоустановками и не только получать требуемую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, но и при необходимости корректировать ее для получения наибольшего выхода продукции при уменьшении затрат [6-9].

Исследования выполнялись в течение десяти лет в соответствии с отраслевой научно-технической программой № 01201350385 «Исследования и разработка электротехнологий на предприятиях агропромышленного комплекса (АПК)».

Целью работы является повышение эффективности LED-фитоустановок для меристемного картофеля за счет научного обоснования наиболее эффективного спектра излучения, позволяющего увеличить выход здорового элитного посадочного материала (меристемного картофеля) и снизить потребление электроэнергии при его выращивании.

Для достижения цели были поставлены **задачи**:

1) провести анализ отечественной и зарубежной литературы по применению LED-фитоустановок в защищенном грунте, в которых реализована возможность изменения дозы спектральных составляющих зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР) при выращивании растений в защищенном грунте;

2) получить математическую модель по влиянию дозы спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля;

3) разработать методику для определения доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения;

4) разработать алгоритм работы программируемого логического контроллера для LED-фитоустановок, позволяющий имитировать наиболее эффективный спектр излучения;

5) провести лабораторные и производственные испытания и выполнить технико-экономическое обоснование применения LED-фитоустановок при выращивании меристемного картофеля.

Из-за деятельности человека происходило распространение овощных растений из одних регионов земного шара в другие, благодаря этому растения приспосабливались к новым условиям, приобретая свойства, которых не имели их предки. Исследования биологов показали, что растения все-таки сохраняют те биологические свойства, которые они приобрели в местах своего первоначального произрастания и возделывания. Поэтому для получения возможно большей продуктивности овощных культур необходимо создать условия, близкие к исторической родине культуры, для получения наибольшей продуктивности. Картофель впервые круглогодично стал возделываться в субтропиках и тропиках. Это страны Перу, Эквадор, Боливия, где до сих пор получают до 4 урожаев в год. Поэтому для получения высокой продуктивности растений необходимо смоделировать спектральный состав зоны ФАР этой местности [1]. Ввиду того, что растение является аккумулятивным объектом, то его развитие сильно зависит от дозы излучения зоны ФАР ($H_{\text{ФАР}}$), которая определяется как

$$H_{\text{ФАР}} = E \cdot t, \quad (1)$$

где E – излучение (облученность /освещенность, интенсивность);

t – время действия излучения (экспозиция).

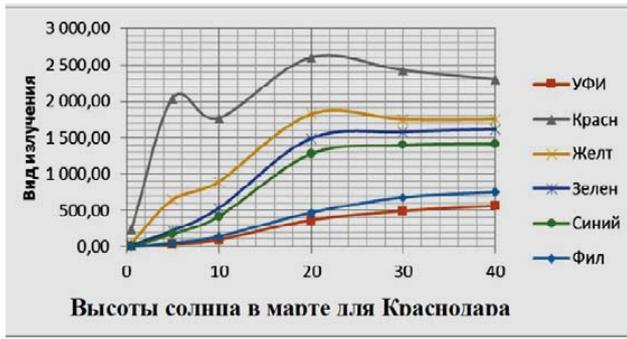
Для расчета $H_{\text{ФАР}}$ разработана методика расчета интенсивности и длительности экспозиции отдельных составляющих зоны ФАР солнечного излучения. На основании полученных данных найдено время экспозиции каждой спектральной составляющей для определения ее дозы по формуле (1) и получена динамика изменения спектрального состава излучения солнца для Перу и Краснодара, взятого нами для сравнения как основной житницы России [1].

Была предложена методика расчета дозы спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения. Для этого с помощью пакета MS Excel мы получили математические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей спектра излучения солнца в весенний и летний периоды для Перу и Краснодара. Например, для Краснодара в марте фиолетовое излучение описывается следующей зависимостью при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9979$:

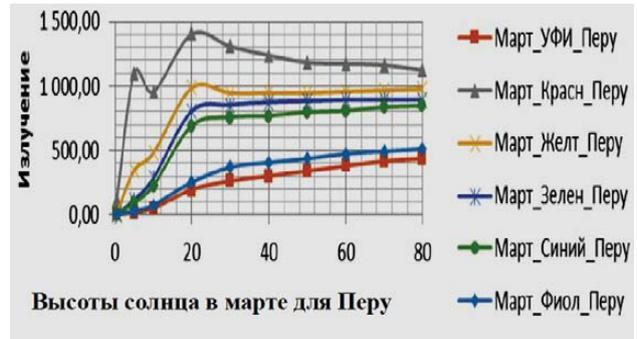
$$Y_{\text{ФИОЛ,МАР}} = -0,0279x^3 + 1,4962x^2 + 3,6333x, \quad (2)$$

где x – угол высоты солнца, град, от $0,5^\circ$ до 40° .

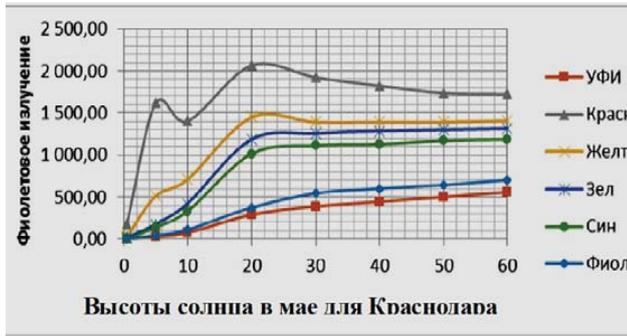
На рисунке 1 показана динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Краснодара в марте и мае.



а)



а)



б)



б)

Рисунок 1 – Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Краснодара: а) в марте, б) в мае

Рисунок 2 – Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Перу: а) в марте, б) в мае

На рисунке 1 показано, что в марте в Краснодаре максимальный угол высоты солнца составляет 40°, а в мае – 60°.

Доза фиолетового излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2):

$$N_{\text{фиол_мар}} = \int_{0,5}^{40} (-0,0279 \cdot x^3 + 1,4962 \cdot x^2 + 3,6333 \cdot x - 5,7068) dx = \left(-0,0279 \cdot \frac{1}{4} \cdot x^4 + 1,4962 \cdot \frac{1}{3} \cdot x^3 + 3,6333 \cdot \frac{1}{2} \cdot x^2 + 5,7068 \cdot x\right) \Big|_{0,5}^{40} = 16974,28 - 6,22 = 16952,06$$

Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Перу показана на рисунке 2.

На рисунке 2 показано, что в Перу в марте и в мае максимальный угол высоты солнца составляет 80°.

Результаты расчетов приведены в таблицах 1-3 [1].

Проведенные исследования показали, что изменения доз спектральных составляющих для Краснодара и Перу можно с удовлетворительной точностью смоделировать логистической кривой в диапазоне длин волн 360...460 нм по методике профессора Г.Н. Зайцева, а в диапазоне длин волн 460...760 нм можно воспользоваться полиномиальной зависимостью.

Таблица 1 – Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за март

За март	Регион	Доза излучения						Всего	Примечание
		фиол.	син.	зел.	жел.	кр.	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	82	197,5	209	268,5	423,5	79,5	1260	-
	Перу	132	265	205,8	340,5	463	110,5	1516,8	За 100 %
%	Краснодар	5%	13%	14%	18%	28%	5%	83%	-
	Перу	9%	17%	14%	22%	31%	7%	100,00%	-

Таблица 2 – Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за апрель

За апрель	Регион	Доза излучения						Всего	Примечание
		фиол.	син.	зел.	жел.	кр.	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	103	223	288	272,5	456,5	78,5	1421,5	
	Перу	130,5	251,9	279,5	340	450,5	106	1558,4	за 100 %
%	Краснодар	7%	14%	18%	17%	29%	5%	91%	
	Перу	8%	16%	18%	22%	29%	7%	100,00%	

Таблица 3 – Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за май

За май	Регион	Доза излучения						Всего	Примечание
		фиол.	син.	зел.	жел.	кр.	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	130	262,5	266,5	352,5	493,5	95,5	1600,5	
	Перу	133,5	238	284	326	443	102	1526,5	за 100 %
%	Краснодар	9%	17%	17%	23%	32%	6%	105%	
	Перу	9%	16%	19%	21%	29%	7%	100,00%	

На рисунке 3 показано сравнение доз зоны ФАР за весну в Перу и Краснодаре.

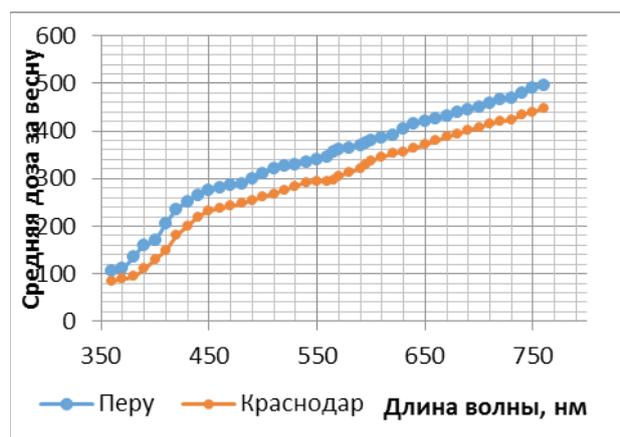


Рисунок 3 – Сравнение доз спектральных составляющих зоны ФАР Перу и Краснодара

Данные, представленные на рисунке 3, свидетельствуют, что весной практически все дозы спектральных составляющих зоны ФАР в Перу выше, чем в Краснодаре. В диапазоне от 360 нм до 460 нм кривую для Краснодара можно моделировать логистической кривой по методике Г.Н. Зайцева, которая имеет вид

$$Y_{\text{КРАСН}}_{\text{СР}_\text{ВЕСНА}} = \frac{240}{1 + 10^{0,743 - 0,233 \cdot x}}$$

Ошибка уравнения регрессии составляет

$$m_{x-y} = \sqrt{\frac{\sum(y - y')^2}{N - n}} = \sqrt{\frac{515}{11 - 3}} = 8,58$$

Доза облучения в диапазоне от 360 до 460 нм

$$H_{\text{КРАСН}_\text{ВЕСНА}} = \int_{360}^{460} \frac{240}{1 + 10^{0,743 - 0,233 \cdot x}} dx \quad (3)$$

В диапазоне длин волн от 460 до 760 нм доза находится как

$$H_{\text{КРАСН}_\text{ВЕСНА}} = \int_{460}^{760} (-0,0013 \cdot x^2 + 0,633 \cdot x - 74,152) dx \quad (4)$$

Для Перу (рис. 3) среднее значение за весну описывается полиномом

$$y = -0,0013x^2 + 2,3544x - 545,38$$

при $R^2 = 0,9801$.

Следовательно, доза за весну определяется как

$$H_{\text{ПЕРУ}_\text{ВЕСНА}} = \int_{360}^{760} (-0,0013 \cdot x^2 + 2,3544 \cdot x - 545,38) dx \quad (5)$$

Далее нашли связь между дозой спектральных составляющих оптического излучения и продуктивностью меристемного картофеля (выражается в площади листьев) и получили следующие математические зависимости по влиянию дозы спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля.

При облучении лампой ЛБ 80 (контроль) зависимость площади листьев (S) от дней наблюдений (x) имеет вид

$$S_{\text{КОНТ}_\text{ЛБ}} = \frac{400}{1 + 10^{-0,0485 - 0,2925 \cdot x}} \quad (6)$$

При облучении LED-фитоустановкой с соотношением красных LED к синим и белым как 3 : 2 : 1 зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид [1]

$$S_{3к2с1б} = \frac{441}{1 + 10^{0,1709 - 0,3269 \cdot x}} \quad (7)$$

При облучении LED-фитоустановкой с имитацией спектра Краснодара зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид

$$S_{\text{Краснодар}} = \frac{445}{1 + 10^{0,1772 - 0,3143 \cdot x}} \quad (8)$$

При облучении LED-фитоустановкой с имитацией спектра Перу зависимость площади листьев (S) от длины волны (x) имеет вид

$$S_{\text{Перу}} = \frac{505}{1 + 10^{0,3258 - 0,3796 \cdot x}} \quad (9)$$

На рисунке 4 показаны полученные зависимости с (6) по (9).

На основании полученных результатов разработана математическая модель, описывающая влияние доз спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля (количество растений), в основу которой легла формула метрики Г. Минкковского:

$$\Phi_{\text{ЭФ}} = \left| \sum_{i=1}^N (\Phi_{\text{ЭФ},i})^n \right|^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

В формуле (10) показатель $n = 3$ – это количество факторов, влияющих на продуктивность растения: фотосинтез, фотоморфоз и фотопериодизм.

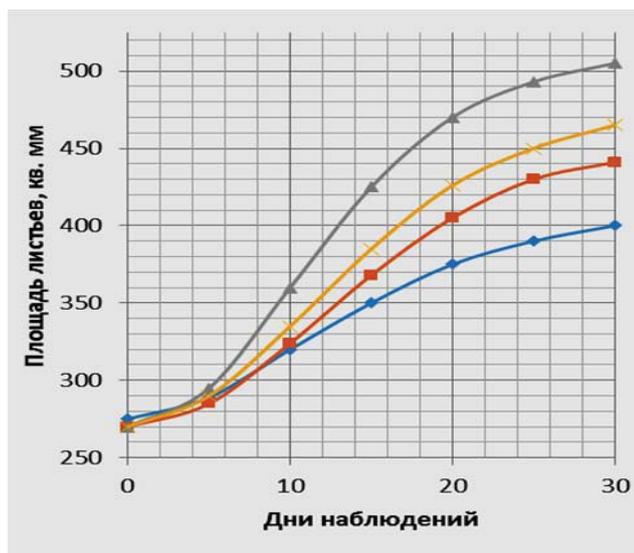


Рисунок 4 – Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР: первая кривая снизу – контроль с лампами ЛБ 80; вторая кривая снизу – соотношение светодиодов красных, синих и белых как 3:2:1; третья кривая снизу – имитация спектра Краснодара; четвертая кривая снизу – имитация спектра Перу

Ввиду того, что для осуществления процесса фотосинтеза необходимо самое максимальное значение энергии (20...30 Вт/м²), для фотоморфогенеза – 3...5 Вт/м² и фотопериодизма – 1...3 Вт/м², то в нашей модели примем этот показатель равным 1.

На основании вышесказанного предлагается следующая математическая модель для определения наиболее эффективного источника излучения, учитывающая влияние дозы спектральных составляющих зоны ФАР на удельную продуктивность меристемного картофеля (количество растений) [1]:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОВ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V = F(H_{\text{ФАР}})}\right]^{\frac{1}{n}}, \quad (11)$$

где $3_{\text{ОВ}} = f(H_{\text{ФАР}})$ – расходы на реализацию предлагаемых технических решений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР;

$V = F(H_{\text{ФАР}})$ – количество полученных меристемных растений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР:

$$V_{\text{КОНТ}} = \int_0^{30} \frac{400}{1+10^{-0,0485-0,2925 \cdot x}} dx;$$

$$V_{\text{Зк2с1б}} = \int_0^{29} \frac{441}{1+10^{0,1709-0,8269 \cdot x}} dx;$$

$$V_{\text{Краснодар}} = \int_0^{28} \frac{465}{1+10^{0,1772-0,8148 \cdot x}} dx;$$

$$V_{\text{Перу}} = \int_0^{26} \frac{505}{1+10^{0,8258-0,8796 \cdot x}} dx.$$

Следовательно, получаем для контроля с лампами ЛБ 80

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОВ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{КОНТ}} = F(H_{\text{ФАР}})}\right]^{\frac{1}{n}} = 60,02 \text{ руб/ раст.}$$

Для варианта «Краснодар»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОВ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{Зк2с1б}} = F(H_{\text{ФАР}})}\right]^{\frac{1}{n}} = 52,10 \text{ руб/ раст.}$$

Для варианта «Перу»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОВ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{Зк2с1б}} = F(H_{\text{ФАР}})}\right]^{\frac{1}{n}} = 46,3 \text{ руб/ раст.}$$

Таким образом, мы получили снижение удельных затрат в 1,3 раза за счет эффективного использования растениями энергии излучения зоны ФАР.

Методы исследования. При выполнении научной работы применялись аналитические и экспериментальные методы исследования, использовались методы математического моделирования с применением программного обеспечения MS Excel, теоретические основы светотехники, электротехники, теории регрессионного анализа и математической статистики, методы прикладной экономики, а также современная измерительная аппаратура.



Рисунок 5 – Система управления на языке лестничных диаграмм (LADDER) Zelio Logic для Перу

Достоверность результатов исследований подтверждена совпадением результатов расчетов по методикам, предложенным авторами, с экспериментальными данными, полученными при испытании LED-фитоустановок, положительными результатами при применении на практике этих LED-фитоустановок, что подтверждается актами и протоколами испытаний.

Светодиодные установки для меристемных растений создавались нами, начиная с 2009 г. [10-15].

По технологии выращивания меристемные растения растут 30 дней.

Реализация спектрального состава исторической родины картофеля государства Перу и житницы России – Краснодара осуществлялась с применением программируемых логических контроллеров (ПЛК) российской фирмы «Овен» и немецкой Schneider Electric.

Программа для Перу обеспечивает работу LED-фитоустановок в течение 30 дней по 16 ч в сутки, с изменением спектрального состава в течение дня в зависимости от высоты солнца, как это происходит при естественных условиях (рис. 5) [1].

Программа для Краснодара (рис. 6) работает по 16 ч в сутки по следующему алгоритму: 10 дней имитируется спектр марта, следующие 10 дней – спектр апреля и последние 10 дней – спектр мая. Программа позволяет изменять спектральный состав излучения в течение дня.

Для ПЛК фирмы «Овен» разработана программа, написанная на языке FBD, для управ-

ления работой светодиодов одного цвета с применением инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys», в которой заложены данные по изменению спектрального состава Перу и Краснодара (рис. 7) [1].

Разработанные схемы системы управления интеллектуальной светодиодной установкой на базе ПЛК позволяют имитировать спектральный состав излучения для любой конкретной местности в течение дня и на протяжении требуемых месяцев [16-18].

Результаты исследований Эксперименты проводились в меристемной лаборатории ФГБНУ Удмуртский НИИ сельского хозяйства с 2009 по 2014 г. В опытах 2014 г. сравнивались три варианта:

1. LED-фитоустановка мощностью 24 Вт, имитирующая спектральный состав излучения исторической родины картофеля – Перу, то есть процентное соотношение красного, желтого, зеленого, синего и фиолетового излучений составило 29:22:17:16:9. Мы назвали ее «Схема Перу».

2. LED-фитоустановка мощностью 24 Вт, имитирующая спектральный состав излучения основной житницы России – Краснодара, то есть процентное соотношение красного, желтого, зеленого, синего и фиолетового излучений составляет 30:19:15:13:7. Мы назвали ее «Схема Краснодара».

3. Светильники с люминесцентными лампами мощностью 80 Вт (контроль).



Рисунок 6 – Система управления на языке лестничных диаграмм (LADDER) Zelio Logic для Краснодара

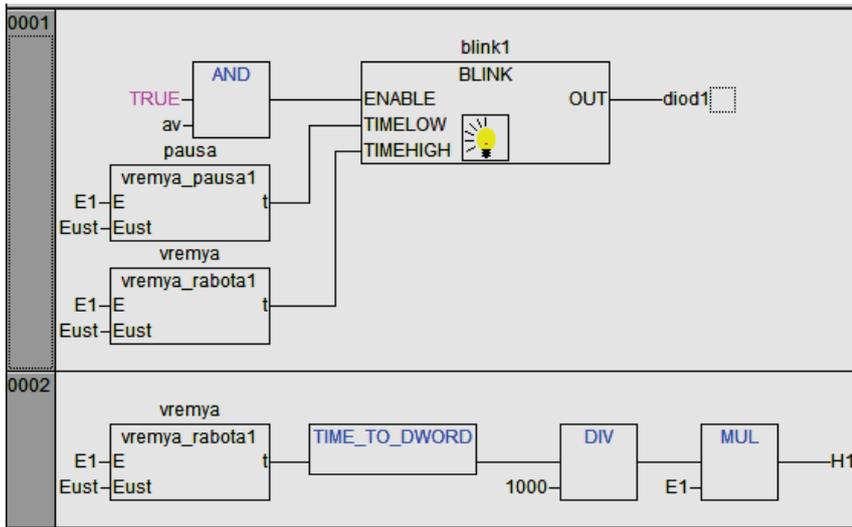


Рисунок 7 – Фрагмент программы для ПЛК фирмы «Овен», написанной на языке FBD, для управления работой LED одного цвета с применением инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys»

В таблицах 4 и 5 приведены результаты исследований [1, 18, 19, 20].

Анализ изменения ассимиляционной площади листьев показал, что наибольшая площадь листьев оказалась при выращивании растений под LED-фитоустановкой по схеме Перу.

Таблица 4 – Исследование влияния спектрального состава излучения фитоустановок на развитие меристемного картофеля

Параметры	Схема «Перу»	Схема «Краснодар»	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облучательной установки, ч	2080	2240	2400
Расход электроэнергии, %	87	93	100
Изменение площади листьев, %	126	116	100
Удельные затраты электроэнергии, %	43,5	48,2	100

Таблица 5 – Результаты опытов по облучению меристемного картофеля

Характеристики растений	Способ облучения		
	схема «Перу»	схема «Краснодар»	ЛБ 80 (контроль)
Длина стебля, см	4,8	4,9	5,1
Количество листьев, шт.	7,5	7,45	5,57
Степень развития корневой системы, в баллах	2,7	2,7	2,06

Анализ данных показывает, что наиболее высокая продуктивность растений оказалась

при использовании фитоустановки со схемой Перу.

Технико-экономическое обоснование эффективности применения светодиодных фитоустановок при выращивании меристемного картофеля проведено методом приведенных затрат. Сравнились два варианта: LED-фитоустановки, реализующие схему «Перу», и реально используемые лампы ЛБ 80 (контроль).

Расчеты показали, что применение предлагаемой LED-фитоустановки с имитацией спектра Перу позволяет сократить сроки готовности меристемных растений

картофеля на 4 дня и получить за счет этого за год примерно на 15% растений больше по сравнению с контролем. Ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб., при сроке окупаемости LED-фитоустановок около 4 лет.

Выводы:

1. Анализ специальной отечественной и зарубежной литературы показал, что имеется широкий ассортимент фитоустановок как с разрядными лампами, так со светодиодами (LED). Применение светодиодов позволяет получить практически любую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, но регулировка спектра осуществляется в основном вручную. Применение ПЛК позволило бы повысить эффективность LED-фитоустановок за счет возможности имитации спектра зоны ФАР как на генетической родине растения, что приведет к увеличению продуктивности.

2. С учетом того, что растение является аккумулятивным объектом, то есть его продуктивность зависит от дозы зоны ФАР, нами предложена математическая модель, описывающая влияние дозы спектральных составляющих излучения зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля, которая показала, что имитация спектра излучения Перу позволяет уменьшить время выращивания меристемного картофеля на 4 дня и снизить затраты на выращивание одного растения в 1,3 раза.

3. Имитация доз спектральных составляющих зоны ФАР осуществлялась с помощью ПЛК, для которого разработаны специальные

программы управления, позволяющие симулировать спектр солнечного излучения зоны ФАР любой географической местности и позволяющие автоматически включать светодиоды в зависимости от времени суток (высоты солнца), а также от изменения освещенности растений в течение дня.

4. Эксперименты по влиянию доз спектральных составляющих зоны ФАР на рост и развитие меристемного картофеля проводились в меристемной лаборатории НИИ сельского хозяйства с 2010 по 2014 г. Исследования показали, что наиболее эффективной для меристемного картофеля является установка, имитирующая спектр Перу, применение которой позволяет снизить удельный расход электрической энергии на 50% и повысить продуктивность растений на 12...15%.

5. Расчет экономической эффективности показал, что ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб., при сроке окупаемости около 4 лет.

Авторы статьи выражают глубокую благодарность ученым в области электрификации сельскохозяйственного производства и сельскохозяйственной светотехники: Р.Г. Бутенко, Л.Г. Прищепу, И.Ф. Бородину, Д.С. Стребкову, Н.Н. Протасовой, И.И. Свентицкому, А.К. Лямцову, А.М. Башилову, С.А. Растимешину, Ю.М. Жилинскому, В.М. Леману, Г.С. Сарычеву, А.А. Тихомирову, А.П. Примаку, В.Н. Карпову, В.П. Шарупичу, С.А. Овчуковой, Л.К. Алферовой, Н.Ф. Кожевниковой, В.А. Козинскому, О.А. Косицыну, R. McCree, P. Mekkel, B. Singh, M. Fischer, J. Bonnet, P. Harris, которые внесли неоценимый вклад в развитии этой области и доказали эффективность применения оптического излучения для получения дополнительной растениеводческой продукции, решили ряд теоретических и прикладных задач в области применения и создания источников излучения для сельскохозяйственных предприятий и биологических исследований.

Список литературы

1. Большин, Р.Г. Повышение эффективности облучения меристемных растений картофеля светодиодами (LED) фитоустановками: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Р.Г. Большин. – М.: ВИЭСХ, 2016. – 178 с.

2. Кондратьева, Н.П. Светодиодные облучательные установки для меристемных растений / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев, Р.Г. Большин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Т. 1. – № 16. – С. 23-25.

3. Патент РФ № 127286 на полезную модель, МПК7: A01G 9/20. Светодиодная система для облучения меристемных растений / Валеев Р.А., Юран С.И., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р., Логинов В.В., Кондратьев Р.Г. (Большин Р.Г.), Маркова М.Г. / заявка на изобретение № 2012130687/13 от 17.07.2012. – Опубл. 27.04.2013. ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.

4. Взаимосвязанное управление параметрами микроклимата защищенного грунта / И.Р. Владыкин, Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, В.В. Логинов, И.А. Баранова, Р.Г. Большин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ за № 2025661513, дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29 октября 2015 г.

5. Энергосберегающие электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / Н.П. Кондратьева, И.Р. Владыкин, И.А. Баранова [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 4 (19). – С. 11-16.

6. Прогрессивные электротехнологии и электрооборудование / Н.П. Кондратьева, С.И. Юран, И.Р. Владыкин [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 2 (57). – С. 49-57.

7. Кондратьева, Н.П. Разработка программы управления для регулирования параметров микроклимата на предприятиях АПК / Н.П. Кондратьева, Т.А. Широбокова, И.Р. Ильясов // Роль молодых ученых-инноваторов в решении задач по ускоренному импортозамещению сельскохозяйственной продукции: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск, 2015. – С. 197-199.

8. Кондратьева, Н.П. Возможность регулирования спектрального состава светодиодных облучательных установок при помощи микроконтроллеров / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2013. – С. 37-40.

9. Кондратьева, Н.П. Анализ солнечного спектра / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 2013. – С. 37-40.

10. Кондратьева, Н.П. Светодиодный светильник для меристемных растений / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев // Наука Удмуртии. – 2012. – № 4. – С. 50-54.

11. Программа для систем автоматического регулирования параметров микроклимата в животноводческих помещениях / Кондратьева, Н.П., Широбокова Т.А., Иксанов И.И., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. // Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2016617931. Дата гос регистрации в Реестре программ для ЭВМ 18 июля 2016 г.

12. Кондратьева, Н.П. Прогрессивные электротехнологии электрооблучения для меристемных

растений / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // Актуальные вопросы и тенденции развития в современной науке: материалы II Международной научно-практической конференции. – Махачкала: Изд-во: АНОО «Махачкалинский центр повышения квалификации», 2015. – С. 55-63.

13. Кондратьева, Н.П. Использование прогрессивных электротехнологий электрооблучения меристемных растений / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // Биотехнология. Взгляд в будущее: IV Международная научная интернет-конференция. – Казань, 2015. – С. 52-56.

14. Энергосберегающие электротехнологии электрооблучения меристемных растений / Н.П. Кондратьева, А.П. Коломиец, Р.Г. Большин [и др.] // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В.А. Трушкина. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – С. 104-107.

15. Энергосберегающие электротехнологии электрооблучения меристемных растений LED-фитоустановками / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая [и др.] // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. МГУ им. Н. П. Огарева; редколлегия: О.Е. Желчинова (ответственный редактор), А.Д. Ашрятов (заместитель ответственного редактора), А.М. Кокинов. – 2015. – С. 252-255.

16. Кондратьева, Н.П. Энергосберегающее электрооборудование с использованием светодиодных технологий в защищенном грунте / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 4 (14). – С. 26-28.

17. Licht – emitting diode system for meritenatic plants radiation / N. Kondratieva, R. Valeev, M. Kondratieva [et al.] // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2014. – № 2 (2). – С. 66-68.

18. Energiesparende Eektrrotechnologie mit Nutzung vor RGB – Lends fue die meristem Pflanzen / N.P. Kondratieva, O.M. Filatova, R.G. Bolshin [et al.] // Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer (USA). – 2015. – С. 50-52.

19. Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet LEDs for protected soil / Nadezhda Kondratieva, Vera Litvinova, Roman Bolshin [et al.] // Yale Review of Education and Science (USA). – 2015. – No. 1 (16), (January-June). – Volume V. – “Yale University Press”, 2015. – P. 758-761.

20. Kondrateva, N. Progressive electric equipment and electro technologies for the protected soil / Nadezhda Kondrateva, Maria Krasnolutskaya, Roman Bolshin // Asian Journal of Scientific and Educational Research, “Seoul National University Press”. – 2015. – No 1(17), (January - June). – Volume II. – “Seoul National University Press”, 2015. – P. 848-852.

Spisok literatury

1. Bol'shin, R.G. Povyshenie jeffektivnosti obluchenija meristemnyh rastenij kartofelja svetodiodnymi (LED) fitoustanovkami: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.02 / R.G. Bol'shin. – M.: VIJeSH, 2016. – 178 s.

2. Kondrat'eva, N.P. Svetodiodnye obluchatel'nye ustanovki dlja meristemnyh rastenij / N.P. Kondrat'eva, R.A. Valeev, R.G. Bol'shin // Izvestija Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovanija. – 2013. – T. 1. – № 16. – S. 23-25.

3. Patent RF № 127286 na poleznuju model', MPK7: A01G 9/20. Svetodiodnaja sistema dlja obluchenija meristemnyh rastenij / Valeev R.A., Juran S.I., Kondrat'eva N.P., Vladykin I.R., Loginov V.V., Kondrat'ev R.G. (Bol'shin R.G.), Markova M.G. / zajavka na izobrenenie № 2012130687/13 ot 17.07.2012. – Opubl. 27.04.2013. FGBOU VPO Izhevskaja GSHA.

4. Vzaimosvjazannoe upravlenie parametrami mikroklimate zashhishhennogo grunta / I.R. Vladykin, N.P. Kondrat'eva, M.G. Krasnoluckaja, V.V. Loginov, I.A. Baranova, R.G. Bol'shin // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM za № 2025661513, data gos. registracii v Reestre programm dlja JeVM 29 oktjabrja 2015 g.

5. Jenergosberegajushhie jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie v sel'skom hozjajstve / N.P. Kondrat'eva, I.R. Vladykin, I.A. Baranova [i dr.] // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2016. – № 4 (19). – S. 11-16.

6. Progressivnye jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie / N.P. Kondrat'eva, S.I. Juran, I.R. Vladykin [i dr.] // Vestnik NGIJeI. – 2016. – № 2 (57). – S. 49-57.

7. Kondrat'eva, N.P. Razrabotka programmy upravlenija dlja regulirovanija parametrov mikroklimate na predpriyatijah APK / N.P. Kondrat'eva, T.A. Shirobo-kova, I.R. Il'jasov // Rol' molodyh uchenyh-innovatorov v reshenii zadach po uskorennomu importozameshheniju sel'skohozjajstvennoj produkcii: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Izhevsk, 2015. – S. 197-199.

8. Kondrat'eva, N.P. Vozmozhnost' regulirovanija spektral'nogo sostava svetodiodnyh obluchatel'nyh ustanovok pri pomoshhi mikrokontrollerov / N.P. Kondrat'eva, R.A. Valeev // Nauchnoe obespechenie APK. Itogi i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 70-letiju FGBOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2013. – S. 37-40.

9. Kondrat'eva, N.P. Analiz solnechnogo spektra / N.P. Kondrat'eva, R.A. Valeev // Nauchnoe obespechenie APK. Itogi i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 70-letiju FGBOU VPO Izhevskaja GSHA. – Izhevsk, 2013. – S. 37-40.

10. Kondrat'eva, N.P. Svetodiodnyj svetil'nik dlja meristemnyh rastenij / N.P. Kondrat'eva, R.A. Valeev // Nauka Udmurtii. – 2012. – № 4. – S. 50-54.

11. Programma dlja sistem avtomaticheskogo regulirovanija parametrov mikroklimate a zhivotnovodcheskih pomeshhenijah / Kondrat'eva, N.P., Shi-

robokova T.A., Iksanov I.I., Il'jasov I.R., Bol'shin R.G., Krasnoduckaja M.G. // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy na JeVM № 2016617931. Data gos registracii v Reestre programm dlja JeVM 18 ijulja 2016 g.

12. Kondrat'eva, N.P. Progressivnye jelektrotehnologii jelektroobluchenija dlja meristemnyh rastenij / N.P. Kondrat'eva, M.G. Krasnoduckaja, R.G. Bol'shin // Aktual'nye voprosy i tendencii razvitija v sovremennoj nauke: materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Mahachkala: Izd-vo: ANOO «Mahachkalinskij centr povyshenija kvalifikacii», 2015. – S. 55-63.

13. Kondrat'eva, N.P. Ispol'zovanie progressivnyh jelektrotehnologij jelektroobluchenija meristemnyh rastenij / N.P. Kondrat'eva, M.G. Krasnoduckaja, R.G. Bol'shin // Biotehnologija. Vzgljad v budushhee: IV Mezhdunarodnaja nauchnaja internet-konferencija. – Kazan', 2015. – S. 52-56.

14. Jenergosberegajushhie jelektrotehnologii jelektroobluchenija meristemnyh rastenij / N.P. Kondrat'eva, A.P. Kolomiec, R.G. Bol'shin [i dr.] // Aktual'nye problemy jenergetiki APK: materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii / pod obshh. red. V.A. Trushkina. – Saratov: OOO «CeSAin», 2015. – S. 104-107.

15. Jenergosberegajushhie jelektrotehnologii jelektroobluchenija meristemnyh rastenij LED-fitoustanovkami / N.P. Kondrat'eva, R.G. Bol'shin, M.G. Krasnoduckaja [i dr.] // Problemy i perspektivy razvitija otechestvennoj svetotehniki, jelektrotehniki i jenergetiki: materialy XII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah III Vserossijskogo svetotehnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. MGU im. N. P. Ogareva; redkollegija: O.E. Zhelechnikova (otvetstvennyj redaktor), A.D. Ashrjatov (zamestitel' otvetstvennogo redaktora), A.M. Kokinov. – 2015. – S. 252-255.

16. Kondrat'eva, N.P. Jenergosberegajushhie jelektrooborudovanie s ispol'zovaniem svetodiodnyh tehnologij v zashhishhennom grunte / N.P. Kondrat'eva, R.G. Bol'shin, M.G. Krasnoduckaja // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2015. – № 4 (14). – S. 26-28.

17. Licht – emitting diode system for meritenatic plants radiation / N. Kondratieva, R. Valeev, M. Kondratieva [et al.] // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2014. – № 2 (2). – S. 66-68.

18. Energiespagende Ekektrotechnologie mit Nutzung vor RGB – Lends fue die meristem Pflanzen / N.P. Kondratieva, O.M. Filatova, R.G. Bolshin [et al.] // Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer (USA). – 2015. – S. 50-52.

19. Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet LEDs for protected soil / Nadezhda Kondratieva, Vera Litvinova, Roman Bolshin [et al.] // Yale Review of Education and Science (USA). – 2015. – No. 1 (16), (January-June). – Volume V. – “Yale University Press”, 2015. – P. 758-761.

20. Kondrateva, N. Progressive electric equipment and electro technologies for the protected soil / Nadezhda Kondrateva, Maria Krasnoduckaja, Roman Bolshin // Asian Journal of Scientific and Educational Research, “Seoul National University Press”. – 2015. – No 1(17), (January - June). – Volume II. – “Seoul National University Press”, 2015. – P. 848-852.

Сведения об авторах:

Кондратьева Надежда Петровна – доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой автоматизированного электропривода. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: aep_isha@mail.ru).

Коломиец Алексей Петрович – доктор технических наук, профессор. ОАО «Росагроснаб» (127994, Российская Федерация, г. Москва, ул. Б. Дмитровка, 32, строение 1, e-mail: Alexey.kolomiets@rosagrosnab.ru).

Большин Роман Геннадьевич – аспирант кафедры автоматизированного электропривода. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: aep_isha@mail.ru).

Краснолуцкая Мария Геннадьевна – аспирант кафедры автоматизированного электропривода. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: aep_isha@mail.ru).

N.P. Kondratieva¹, A.P. Kolomiets², R.G. Bolshin¹, M.G. Krasnoduckaja¹

¹Izhevsk State Agricultural Academy;

²JSC Rosagrosnab

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF LIGHT EMITTING DIODE PHYTOINSTALLATIONS IN GREEN HOUSES

The article presents the results of experiments on the irradiation of the meristem potato plants with the LED phytoinstallations consisting of different colors light-emitting diodes. The basis of the research is the hypothesis that it is necessary, first of all, to simulate the doses of the spectral density of the zone of photosynthetic active radiation (PAR) of the genetic homeland of the plant for the productivity improvement of a foreign crop. For the implementation of this statement we applied the instrumental software package of industrial automation "CoDeSys" and developed programs for programmable logic controllers (PLCs), which control LED phyto units for doses simulating of the spectral components of the PAR areas of any geographical location for a desired period of time.

Key words: meristem potato; photosynthetic active radiation; the genetic homeland of plants; light-emitting diode phytoinstallations; LED-phytoinstallations; programmable logic controllers; spectral radiant intensity; the software package "CoDeSys".

Authors:

Kondratieva Nadezhda Petrovna – Doctor of Engineering Sciences, Professor, acting Head of Automatic Electric Drive Department. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: aep_isha@mail.ru).

Kolomiets Aleksey Petrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor. JSC Rosagrosnab (32 - 1, Bolshaya Dmitrovka street, Moscow, Russian Federation, 127994, e-mail: Alexey.kolomiets@rosagrosnab.ru).

Bolshin Roman Gennadievich – post-graduate student of Automatic Electric Drive Department. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: aep_isha@mail.ru).

Krasnolutskaya Mariya Gennadievna – post-graduate student of Automatic Electric Drive Department. Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya street, Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: aep_isha@mail.ru).

УДК 631.362.322

И.П. Попов, В.Г. Чумаков, В.И. Чарыков, С.Ю. Кубарева, Д.П. Попов

ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА НА ДИНАМИКУ РЕШЕТНОГО СТАНА

При линейных колебаниях массивных решетчатых станков развивается значительная реактивная мощность. Существенное влияние на эту мощность оказывает динамика зернового вороха. Целью работы является определение меры инертности зернового вороха с учетом его сыпучести. Основная трудность этой задачи состоит в отсутствии даже приблизительных сведений об обобщенном коэффициенте динамического трения, поскольку на его величину существенно влияет перемещение зерна во всем его объеме, а не только в плоскости соприкосновения с решетками. Представление динамического состояния вороха в виде суперпозиции его подвижного и неподвижного состояний позволяет решать эту и подобные задачи. Основными методами исследования в рамках настоящей работы являются методы математического моделирования и анализа. Основными этапами математического моделирования являются построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели. Полученные результаты: состоянию ξ_a соответствует максимальная частота колебаний ω_a , при которой ворох остается неподвижным относительно решета за счет статической силы трения. При этом он совершает колебания относительно корпуса зерноочистительной машины с теми же частотой и амплитудой, что и решетчатый стан. Состоянию ξ_z соответствует минимальная частота ω_z , при которой ворох остается неподвижным относительно корпуса машины благодаря инерции. При этом он совершает колебания относительно решета с теми же частотой и амплитудой. Очевидно, что $\omega_a < \omega_z$. При частоте $\omega_a < \omega < \omega_z$ ω_a -я часть вороха условно может считаться неподвижной относительно решета, ω_z -я часть – подвижной.

Ключевые слова: суперпозиция; граничные состояния; функции состояния; подвижность; неподвижность; переменная состояния; частота колебаний.

Введение. При линейных колебаниях массивных решетчатых станков развивается значительная реактивная мощность [1–6]. Существенное влияние на эту мощность оказывает динамика зернового вороха. **Целью работы** является определение меры инертности зернового вороха с учетом его сыпучести. **Задача исследования** состоит в обосновании представления вороха в виде суперпозиции его подвижного и неподвижного состояний.

Пусть степень подвижности зернового вороха относительно решета оценивается величиной ξ [7–9], при этом $\xi \in [\xi_a, \xi_z] \subset \mathbb{R}$.

Представление ξ в виде суперпозиции граничных состояний ξ_a и ξ_z имеет вид:

$$\xi = \varphi_a \xi_a + \varphi_z \xi_z, \quad (1)$$

где φ_a и φ_z – функции состояния.

Актуальность темы обусловлена необходимостью расчета динамики решетчатого стана в совокупности с зерновым ворохом. Основная

трудность этой задачи состоит в отсутствии даже приблизительных сведений об обобщенном коэффициенте динамического трения, поскольку на его величину существенно влияет перемещение зерна во всем его объеме, а не только в плоскости соприкосновения с решетками. Представление динамического состояния вороха в виде суперпозиции его подвижного и неподвижного состояний позволяет решать эту и подобные задачи.

Дальнейшее рассмотрение ограничивается широко распространенными в практических задачах моделями с взаимоисключающими равновеликими граничными состояниями.

Методика. Основными методами исследования в рамках настоящей работы являются методы математического моделирования и анализа. При этом исследуется не сам физический объект, а его математическая модель – «эквивалент» объекта, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям, и т.д. Используемые виды моделирования являются детерминированными, динамическими и непрерывными. Основными этапами математического моделирования являются построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели. Используемые методы позволяют получить достоверное описание исследуемых объектов.

Результаты и их обсуждение.

Суперпозиция взаимоисключающих равновеликих граничных состояний. Такими состояниями в рассматриваемом случае являются ξ_a – неподвижность вороха относительно решетки и ξ_z – его подвижность. При этом

$$|\xi| = |\xi_a| = |\xi_z|. \quad (2)$$

Равенство может необходимо обеспечиваться, если, например, соответствующие величины измеряются в процентах: неподвижность $\xi_a = 100\%$ и подвижность $\xi_z = 100\%$.

Из этого следует, что $\varphi_a + \varphi_z = 1$ и промежуточное состояние можно представить в виде

$$\xi = \varphi_a \xi_a + (1 - \varphi_a) \xi_z = (1 - \varphi_z) \xi_a + \varphi_z \xi_z.$$

Состоянию ξ_a соответствует максимальная частота колебаний ω_a , при которой ворох остается неподвижным относительно решетки за счет статической силы трения. При этом он совершает колебания относительно корпуса зерноочистительной машины с теми же частотой и амплитудой, что и решетчатый стан. Состоянию ξ_z соответствует минимальная частота ω_z ,

при которой ворох остается неподвижным относительно корпуса машины благодаря инерции. При этом он совершает колебания относительно решетки с теми же частотой и амплитудой. Очевидно, что $\omega_a < \omega_z$.

При частоте $\omega_a < \omega < \omega_z$ φ_a -я часть вороха условно может считаться неподвижной относительно решетки φ_z -я часть – подвижной.

Функции состояния связаны с частотой колебаний, которая является переменной состояния. Переменными состояниями в общем случае могут быть другие величины: время, скорость, температура, влажность и т.д.

Функции состояния. Пусть x – переменная состояния, $x \in [x_a, x_z] \subset \mathbb{R}$.

Переменная состояния является аргументом функции состояния.

Функции состояния могут быть линейными

$$\varphi_a(x) = 1 - p(x - x_a), \quad p \in \mathbb{R}, \quad (3)$$

$$\varphi_z(x) = p(x - x_a),$$

$$p(x_z - x_a) = 1.$$

Во многих случаях функции состояния являются нелинейными, при этом чаще всего их аналитическое изображение неизвестно.

Для рассматриваемых моделей с взаимоисключающими равновеликими граничными состояниями функции состояния, как правило, являются непрерывными и монотонными на интервале $[x_a, x_z]$. При этом φ_a изменяется от 1 до 0, а φ_z – от 0 до 1. При этих условиях функции состояния в большинстве практических случаев являются аналитическими на интервале $[x_a, x_z]$ и могут быть представлены в виде разложений в ряды, например, Тейлора

$$\varphi_a(x) = \varphi_a(x_w) + \varphi'_a(x_w)(x - x_w) + \frac{\varphi''_a(x_w)}{2!}(x - x_w)^2 + \dots + \frac{\varphi_a^{(n)}(x_w)}{n!}(x - x_w)^n \quad (4)$$

при условии пренебрежимой малости остаточного члена. Здесь $x_w \in [x_a, x_z]$.

В пользу ряда Тейлора говорит, например, то, что (3) является его частным случаем при $n = 1$.

Величины

$$\varphi_a(x_w), \varphi'_a(x_w), \varphi''_a(x_w), \dots, \varphi_a^{(n)}(x_w) \quad (5)$$

можно рассматривать как параметры функции состояния. Для их определения необходимо найти, например, экспериментально помимо $\varphi_a(x_w)$ еще n конкретных значений функции состояния $\varphi_a(x_1), \varphi_a(x_2), \dots, \varphi_a(x_n)$ и составить в соответствии с (4) систему из n уравнений с n неизвестными.

Так как граничные значения функции состояния известны, границы интервала $[x_a, x_z]$ без труда можно определить в соответствии с (4).

Поскольку ξ_a – неподвижность, а ξ_z – подвижность вороха, то $\varphi_a(x)$ можно рассматривать как функцию неподвижности, а $\varphi_z(x)$ – как функцию подвижности. При этом (5) являются параметрами функций подвижности и неподвижности.

Аналогичным образом могут определяться функции для других состояний.

Пример. Для решетной машины [10] экспериментально получены следующие данные: $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$ (рабочий режим) ($n = \omega/2\pi$), $\varphi_a(n_w) = 0,320$; $n_1 = 3 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_a(n_1) = 0,822$; $n_2 = 5 \text{ с}^{-1}$, $\varphi_a(n_2) = 0,579$; $n_3 = 12 \text{ с}^{-1}$; $\varphi_a(n_3) = 0,122$. Система уравнений для этих данных в соответствии с (4) имеет вид

$$\begin{cases} 0,822 = 0,320 + \varphi'_a(8)(3-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(3-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(3-8)^3 \\ 0,579 = 0,320 + \varphi'_a(8)(5-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(5-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(5-8)^3 \\ 0,122 = 0,320 + \varphi'_a(8)(12-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(12-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(12-8)^3 \end{cases}$$

Решение системы:

$$\varphi'_a(8) = -6,825 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{\varphi''_a(8)}{2!} = 5,456 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\varphi'''_a(8)}{3!} = -1,977 \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом, функция неподвижности (4) имеет вид

$$\varphi_a(n) = 0,320 - 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) + 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 - 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

Функция подвижности соответственно

$$\varphi_z(n) = 0,680 + 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) - 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 + 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

По известным граничным значениям функций состояния (0 и 1) определяются граничные значения переменной состояния: $n_a = 1,8 \text{ с}^{-1}$, $n_z = 17,2 \text{ с}^{-1}$.

На рисунке 1 изображены функции состояния для рассматриваемого примера.

Состояние зернового вороха на рабочей частоте $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$ определяется суперпозицией его граничных состояний

$$\xi = \varphi_a(n_w)\xi_a + \varphi_z(n_w)\xi_z = 0,32\xi_a + 0,68\xi_z.$$

Для определения инерционных и диссипативных нагрузок привода решетного стана суперпозиция граничных состояний может быть распространена на массу вороха m . Для этого последнее выражение, имея в виду (2), следует разделить на $|\xi|$ и умножить на m .

$$m = \varphi_a(n_w)m + \varphi_z(n_w)m = 0,32m + 0,68m.$$

Это можно условно интерпретировать таким образом, что часть вороха массой $0,32m$ совершает колебания вместе с решетным станом, внося вклад в инерционную нагрузку, а часть вороха массой $0,68m$ за счет подвижности относительно решета создает силу трения и соответствующую диссипативную нагрузку.

Этот способ может использоваться для объектов с другими параметрами и состояниями.

Алгоритм экспериментального определения значений функции подвижности зернового вороха. Движения решетных станом зерноочистительной машины сопровождаются знакопеременными ускорениями. При положительном ускорении привод сообщает решетному стану существенную кинетическую энергию. При отрицательном – энергия передается от решетного стана приводу. Развиваемая мощность, следовательно, является знакопеременной или реактивной [11–13].

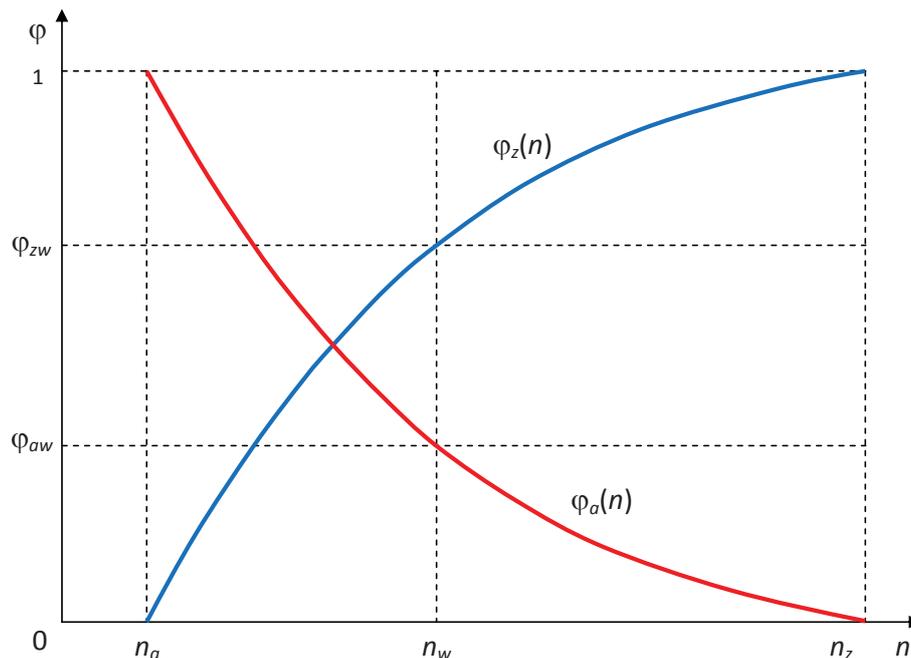


Рисунок 1 – Функции состояния: $\varphi_a(n)$ – функция неподвижности, $\varphi_z(n)$ – функция подвижности

Применение схемы движения двух решетчатых станов в противоположных направлениях снимает динамическую нагрузку на корпус зерноочистительной машины, но не решает проблему нейтрализации нагрузок привода решетчатого стана и питающей сети – момент на валу привода и потребляемая мощность остаются знакопеременными.

На рисунке 2 представлены графики инерционной мощности для двух решетчатых станов, фазы колебаний которых сдвинуты на половину периода. При этом амплитуда суммарной инерционной мощности равна сумме амплитуд мощностей каждого стана.

На рисунке 3 представлены графики инерционной мощности при сдвиге фаз колебаний на четверть периода. Нижняя часть рисунка наглядно демонстрирует, что в этом случае знакопеременные инерционные мощности решетчатых станов взаимно нейтрализуются и поток знакопеременной мощности питающей сети равен нулю. Другими словами, решетчатые станы обмениваются энергией между собой, а не с приводом агрегата, что позволяет существенно сократить потребление энергии из сети.

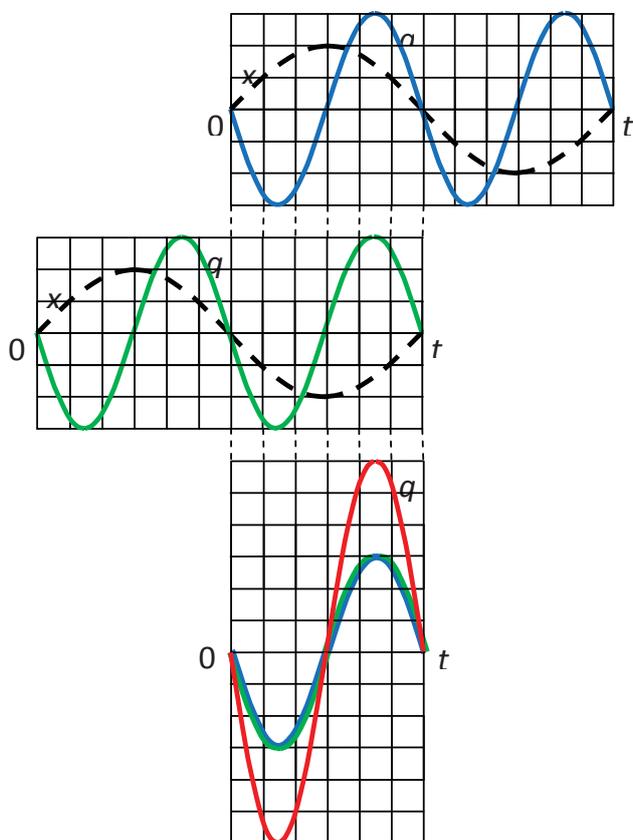


Рисунок 2 – Сдвиг фаз колебаний решетчатых станов на π : x – координата решетчатого стана, q – инерционная мощность

Экспериментальная часть. Для двух решетчатых станов, совершающих колебания в противофазах, при отсутствии зернового вороха измеряется мощность P , развиваемая приводом на частоте n_c . Она состоит из двух неизвестных частей – P_{11} и P_{21} , обусловленных соответственно инерционными и диссипативными нагрузками.

После этого от общего приводного вала решетчатым станам сообщают колебания той же частоты n_c , сдвинутые друг относительно друга на четверть периода колебаний. В этом случае решетчатые станы обмениваются кинетической энергией между собой, а не с приводом, для которого в этой связи часть мощности, обусловленная инерционной нагрузкой, равна нулю. Измеренная мощность привода равна P_{21} . По измеренным P и P_{21} определяется P_{11} .

Решетчатые станы загружаются зерновым ворохом, и на той же частоте n_c выполняются аналогичные измерения, в результате которых становятся известными величины P_{12} и P_{22} .

Искомая часть массы зернового вороха $\varphi_a(n_c)m$, вносящая вклад в инерционную нагрузку, определяется разностью $P_{12} - P_{11}$.

Часть массы зернового вороха $\varphi_z(n_c)m$, вносящая вклад в диссипативную нагрузку, определяется как

$$\varphi_z(n_c) = m - \varphi_a(n_c)m.$$

По части диссипативной мощности $P_{22} - P_{21}$ и $\varphi_z(n_c)m$ можно определить обобщенный коэффициент динамического трения системы решетчатый стан-ворох.

Замечание. Не всегда имеется возможность определить граничные состояния исследуемого объекта ξ_a и ξ_z . В этом случае вместо (1) можно использовать его обобщение:

$$\xi = \varphi_b(x)\xi_b + \varphi_y(x)\xi_y, \quad \xi \in [\xi_b, \xi_y] \subset [\xi_a, \xi_z].$$

Результаты исследований состоят в получении формулы, в том числе с учетом числовых значений конкретного примера

$$m = \varphi_a(n_w)m + \varphi_z(n_w)m = 0,32m + 0,68m,$$

которая показывает, что часть вороха (массой 0,32 m) совершает колебания вместе с решетчатым станом, внося вклад в инерционную нагрузку, а часть вороха (массой 0,68 m) за счет подвижности относительно решетки создает силу трения и соответствующую диссипативную нагрузку.

Вывод. Представление динамического состояния зернового вороха в виде суперпозиции его граничных состояний (подвижности и неподвижности) позволяет установить совокупную инертную массу решетчатого стана и расчетной части зернового вороха, без чего невозможно корректное решение задачи динамики решетчатой зерноочистительной машины.

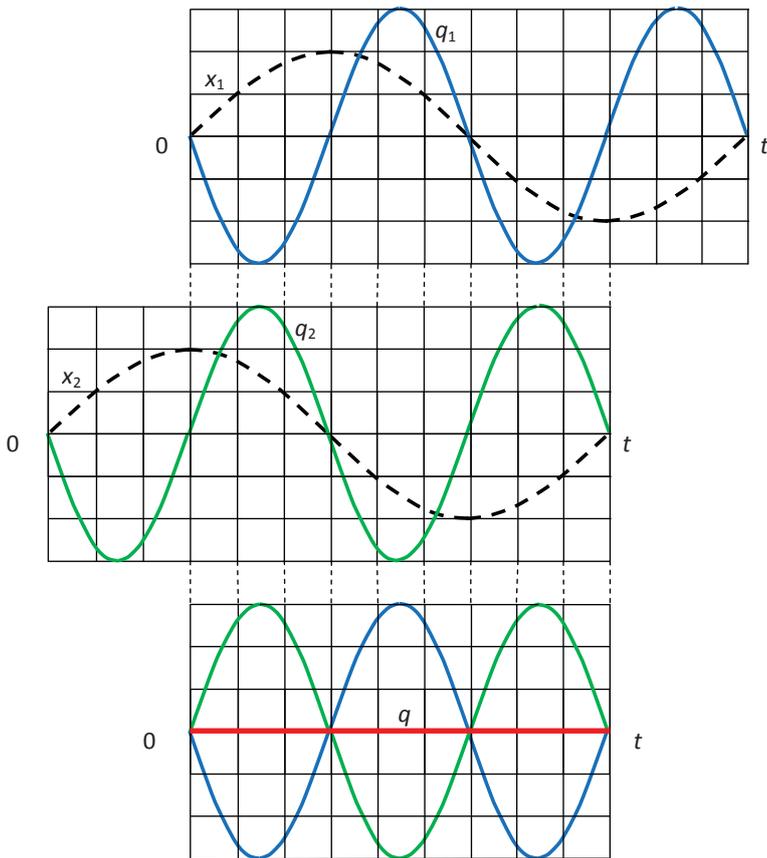


Рисунок 3 – Сдвиг фаз колебаний решетных станов на $\pi/2$

Список литературы

1. Комплексная мощность решетных зерноочистительных машин / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, И.В. Шевцов [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 71. – С. 130–134.
2. Нейтрализация инерционной мощности решетной зерноочистительной машины / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып. 10. – № 3(37). – С. 10, 11.
3. Инерционная мощность решетной зерноочистительной машины / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – № 3 (15). – С. 77–79.
4. Попов, И.П. Механическая мощность при колебательных технологических операциях / И.П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып. 2. – С. 15–18.
5. Попов, И.П. Комплексная мощность механических колебательных процессов / И.П. Попов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1. – С. 32–36.
6. Мощность решетной зерноочистительной машины, обусловленная массой решетных станов / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – № 1 (32). – С. 140–149.

7. Попов, И.П. Редукция мощности привода решетных сортировальных машин / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, А.Д. Терентьев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2015. – № 2(219). – С. 175–181.

8. Мощность решетной машины, рассеиваемая в зерновом ворохе / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – № 4 (31). – С. 110–118.

9. Инерционная, диссипативная и полная мощности решетной зерноочистительной машины / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып. 10. – № 3(37). – С. 11–13.

10. Решетный стан зерноочистительной машины / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, Д.П. Попов [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 4. – С. 8, 9.

11. Попов, И.П. Самонейтрализация механических инертных реактансов основной гармонике в решетных станах / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, А.В. Чикун // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4(28). – С. 170–174.

12. Попов, И.П. Свободные механические гармонические колебания, обусловленные преобразованием кинетической энергии в кинетическую / И.П. Попов // Вестник Курганского государственного университета. Естественные науки. – 2013. – Вып. 6. – № 3(30). – С. 76, 77.

13. Механизм зерноочистительной машины с постоянным приведенным моментом инерции / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, С.С. Родионов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – № 1 (13). – С. 68–71.

Spisok literatury

1. Kompleksnaja moshhnost' reshetnyh zernoochistitel'nyh mashin / I.P. Popov, V.G. Chumakov, I.V. Shevcov [i dr.] // Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – Vyp. 71. – S. 130–134.
2. Nejtralizacija inercionnoj moshhnosti reshetnoj zernoochistitel'noj mashiny / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2015. – Vyp. 10. – № 3(37). – S. 10, 11.
3. Inercionnaja moshhnost' reshetnoj zernoochistitel'noj mashiny / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Kurganskoj GSXA. – 2015. – № 3 (15). – S. 77–79.

4. Popov, I.P. Mehanicheskaja moshhnost' pri kolebatel'nyh tehnologicheskikh operacijah / I.P. Popov // Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2015. – Vyp. 2. – S. 15–18.
5. Popov, I.P. Kompleksnaja moshhnost' mehanicheskikh kolebatel'nyh processov / I.P. Popov // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. – 2016. – № 1. – S. 32–36.
6. Moshhnost' reshetnoj zernoochistitel'noj mashiny, obuslovlennaja massoj reshetnyh stanov / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ja. – 2016. – № 1 (32). – S. 140–149.
7. Popov, I.P. Redukcija moshhnosti privoda reshetnyh sortiroval'nyh mashin / I.P. Popov, V.G. Chumakov, A.D. Terent'ev // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. – 2015. – № 2(219). – S. 175–181.
8. Moshhnost' reshetnoj mashiny, rasseivaemaja v zernovom vorohe / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ja. – 2015. – № 4 (31). – S. 110–118.
9. Inercionnaja, dissipativnaja i polnaja moshhnosti reshetnoj zernoochistitel'noj mashiny / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2015. – Vyp. 10. – № 3(37). – S. 11–13.
10. Reshetnyj stan zernoochistitel'noj mashiny / I.P. Popov, V.G. Chumakov, D.P. Popov [i dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2015. – № 4. – S. 8, 9.
11. Popov, I.P. Samonejtralizacija mehanicheskikh inertnyh reaktansov osnovnoj garmoniki v reshetnyh stanah / I.P. Popov, V.G. Chumakov, A.V. Chikun // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii. – 2014. – № 4(28). – S. 170–174.
12. Popov, I.P. Svobodnye mehanicheskie garmonicheskie kolebanija, obuslovlennye preobrazovaniem kineticheskoi jenergii v kineticheskiju / I.P. Popov // Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. – 2013. – Vyp. 6. – № 3(30). – S. 76, 77.
13. Mehanizm zernoochistitel'noj mashiny s postojannym privedennym momentom inercii / I.P. Popov, V.G. Chumakov, S.S. Rodionov [i dr.] // Vestnik Kurganskoi GSHA. – 2015. – № 1 (13). – S. 68–71.

Сведения об авторах:

Попов Игорь Павлович – инженер. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (640000, Российская Федерация, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково, e-mail: ip.popov@yandex.ru).

Чумаков Владимир Геннадьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технических систем в агробизнесе. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (640000, Российская Федерация, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково).

Чарыков Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры электрификации и автоматизации сельского хозяйства. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (640000, Российская Федерация, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково).

Кубарева Светлана Юрьевна – инженер. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (640000, Российская Федерация, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково).

Попов Дмитрий Павлович – инженер. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (640000, Российская Федерация, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково).

I.P. Popov, V.G. Chumakov, V.I. Charykov, S.J. Kubareva, D.P. Popov
Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev

DETERMINATION OF THE GRAIN HEAP INFLUENCE ON SIEVE PAN DYNAMICS

The significant reactive power develops during linear vibrations of massive sieve pans. The grain heap dynamics significantly influences this power. The aim of the study is to establish the inertness of the grain heap taking into account its flowability. The key problem consists in the lack of information about generalized coefficient of dynamic friction as its value is significantly influenced by the grain movement in the whole volume and not only in the contacts with sieves. The representation of the dynamic state of the heap as a superposition of its movable and stationary states can solve this and similar problems. The basic research methods of the work are the methods of mathematical modeling and analysis. The main mathematical modeling stages are model building followed by mathematical problem solving, the interpretation of the consequences of the mathematical model, validity check of the model, the model modification. The obtained results are: the state ξ_a corresponds to the maximum frequency of oscillation ω_a , in which a heap remains stationary towards sieves due to static friction. In this case it oscillates towards body of the grain cleaning machine with the same frequency and amplitude as the sieve pan. The state ξ_z corresponds to the minimum frequency ω_z , where a heap remains stationary towards the machine frame due to inertia. In this case it oscillates towards sieves with the same frequency and amplitude. It is obvious $\omega_a < \omega_z$. At a frequency $\omega_a < \omega < \omega_z$ φ_a -th part of the heap may be considered stationary towards sieves, φ_a -th part – mobile.

Key words: superposition; boundary states; the functions of state; mobility; immobility; the variable of state; oscillation frequency.

Authors:

Попов Игорь Павлович – engineer. Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev (Lesnikovo village, Ketovsky district, Kurgan region, Russian Federation, 640000, e-mail: ip.popow@yandex.ru).

Chumakov Vladimir Gennadjevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Head of the Department of Engineering Systems in Agrobusiness. Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev (Lesnikovo village, Ketovsky district, Kurgan region, Russian Federation, 640000).

Charykov Viktor Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Electrification and Mechanization. Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev (Lesnikovo village, Ketovsky district, Kurgan region, Russian Federation, 640000).

Kubareva Svetlana Jurjevna – engineer. Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev (Lesnikovo village, Ketovsky district, Kurgan region, Russian Federation, 640000).

Попов Дмитрий Павлович – engineer. Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev (Lesnikovo village, Ketovsky district, Kurgan region, Russian Federation, 640000).

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПУБЛИКАЦИИ АВТОРСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. К публикации принимаются соответствующие основным 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 (CD-R или CD-RW диск, USB-носитель) с записанным текстом (в формате Microsoft Word 2003 с расширением файла *.rtf или *.doc) и иллюстрационным материалом.

Статья должна содержать следующие структурные элементы: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования (желательно наличие иллюстративного материала: таблицы, рисунки), выводы.

4. Текст должен быть набран шрифтом Times New Roman. Размер шрифта 14 (для основного текста), 12 – для дополнительного текста (текста таблиц, списка литературы и т. п.). Междустрочный интервал для текста полуротный; режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Формат бумаги А4 (210x297 мм). Поля: сверху, снизу, слева – 2,0 см, справа – 2,5. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту (1,27 или 1,5 см). Номера страниц ставятся внизу и посередине.

5. Таблицы должны быть созданы в Microsoft Word. Шрифт шапки таблицы – 11 (жирн.), текста таблицы – 12. Междустрочный интервал для таблиц одинарный. Ширина таблицы должна совпадать с границами основного текста, горизонтальные таблицы необходимо поместить в отдельные файлы.

6. Рисунки допускаются только черно-белые, штриховые, без полутонов и заливки. В рисунках необходимо предусмотреть 1,5-кратное уменьшение. Ширина рисунков – не более ширины основного текста. Дополнительные 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 из всех авторов).

10. Название статьи приводится на русском и английском языках.

11. Аннотация приводится на русском и английском языках и повторяет структуру статьи: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования, выводы. Аннотация должна содержать не менее 200 слов.

12. Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой. Ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

13. Статья должна быть подписана всеми авторами.

14. Пристатейный список литературы должен оформляться по ГОСТ 7.1-2003. В тексте статьи ссылки на литературу оформляются в виде номера в квадратных скобках на каждый источник. В список литературы желательно включать статьи из периодических источников: научных журналов, материалов конференций, сборников научных трудов и т. п., нельзя ссылаться на неопубликованные работы. Источники (не менее 7) в списке литературы размещаются строго в алфавитном порядке. Сначала приводятся работы авторов на русском языке, затем на других языках. Все работы одного автора необходимо указывать по возрастанию годов издания. Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в пристатейном списке литературы, а также за точность приводимых в рукописи цитат, фактов, статистических данных. Пристатейный список литературы приводится на русском языке.

15. Статьи, оформленные с нарушением требований, рассматриваться и публиковаться не будут.

16. К статье прилагается рецензия (внешняя), составленная доктором наук по направлению исследований автора (формат jpg). Рецензия должна содержать: полное название статьи; должность автора статьи; его фамилию, имя, отчество; краткое описание проблемы, которой посвящена статья; степень актуальности предоставляемой статьи; наиболее важные аспекты, раскрытые автором в статье; рекомендацию к публикации; сведения о рецензенте (ученая степень, ученое звание, должность, место работы, фамилия, имя отчество, подпись, гербовая печать). Рецензирование всех научных статей обеспечивается редакцией. Рецензирование проводят члены редакционной коллегии или приглашенные редакцией рецензенты.

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 (210x297). The sidelines: above, below and left – 2 cm, right – 2.5 cm. The paragraph break must be the same in the whole text (1.27 or 1.5 cm). Page numbers are put in the centre below.

5. Tables must be executed in Microsoft Word. The font of table heading is 11 (bold), table texts – 12; single space. The width of the table must be the same as the main text lines, horizontal tables should be placed in a separate file.

6. Only black-and-white drawings, drawings in lines, without halftones and filling are allowed. It is necessary to provide for 1.5-fold reduction in the drawings. The drawing width must not be more than the width of the main text. In addition, the drawings are presented in separate files in one of the following formats: *.jpeg, *.eps, *.tiff.

7. All mathematical formulae must be accurately adjusted. The electronic version should be provided in format Microsoft Equation 3.1.

8. The volume of the manuscript should not be less than 14 standard pages of the text including tables and drawings.

9. Information about the author should contain: the surname, first name and patronymic; science degree, academic rank, position, full name of organization – place of work of every author, city and country (in the

Russian and English languages); e-mail of every author, correspondent postal address and contact telephone number (may be one for all authors).

10. The title of the article is given in Russian and English.

11. The annotation of the article is given in Russian and English and it should reflect the structure of the article: relevance, the aim and tasks, materials and methods, research results, conclusions. The annotation should contain minimum 200 words.

12. Key words or word combinations are separated by semicolon. Key words are printed in Russian and English.

13. The article must be signed by all its authors.

14. The literature reference list of the article must be done according to the state standard GOST 7.0.1-2003. References to the resources of information in the text are indexed with numbers and given in square parentheses. The reference list should include articles from periodicals: peer-reviewed journals, conference proceedings, collection of scientific papers etc., unpublished papers should not be put on the literature reference list.

The reference sources (not less than 7) must be listed in the references in alphabetical order. First the papers of authors are given in Russian, further in other languages. All the papers of one author should be indexed in ascending order of the years of publishing.

The authors are responsible for the correctness of data given in the literature reference list of the article, as well as for the accuracy of citations, facts, statistical information provided in the manuscript. The literature reference list is printed in the Russian language.

15. Papers which do not conform to the requirements mentioned above shall not be taken for consideration, reviewing and publishing.

16. The article is enclosed with the review (external) of Doctor of Sciences in the author's research field (format jpg). The review should contain: a full title of the article; a position of the article's author, his/her surname, first name and patronymic; a brief description of the article's problem; a degree of relevance of the article; the most significant issues revealed by the author in the article; a recommendation for the article publication; information about the reviewer (science degree, academic rank, position and place of work, surname, first name and patronymic, signature, official stamp).

Review of all scientific articles is provided by the editorial staff. The peer review is carried out by the editors or external reviewers.