ISSN 2077-2084

12+

10.36508/RSATU.2024.66.14.001

Том 16, №4, '2024

Вестник

Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева

ВЕСТНИК РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА имени П.А. КОСТЫЧЕВА

Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки

4.1.1. *Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)*

4.1.3. *Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)*

4.1.5. *Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)*

4.1.5. *Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)*

4.2.2. *Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)*

4.2.2. *Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки)*

4.2.4. *Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)*

4.2.5. *Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)*

4.2.5. *Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки)*

4.3.1. *Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)*

4.3.1.*Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки)*

4.3.2. *Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)*

Научно-производственный журнал

Издается с 2009 года

Выходит один раз в квартал

Том 16, № 4, 2024

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

СОСТАВ

редакционной коллегии и редакции журнала «Вестник РГАТУ»

Главный редактор
С.Н. Борычев,
д-р техн. наук, профессор

Заместитель главного редактора
Г.К. Рембалович,
д-р техн. наук, профессор

Технический редактор
И.В. Чивилева,
канд. психол. наук, доцент

Члены редакционной коллегии:

О.Н. Дидманидзе, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
А.С. Дорохов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
Я.П. Лобачевский, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
Ю.Х. Шогенов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, академик РАН

Н.Г. Байбобоев, д-р техн. наук, профессор
С.Н. Борычев, д-р техн. наук, профессор
Д.В. Виноградов, д-р биол. наук, профессор
М.А. Габибов, д-р с.-х. наук, профессор
Г.В. Гавардашвили, д-р техн. наук, профессор
П.П. Гамаюнов, д-р техн. наук, профессор
В.И. Желязко, д-р с.-х. наук, профессор
О.А. Захарова, д-р с.-х. наук, доцент
В.В. Калашников, д-р с.-х. наук, профессор
Е.А. Калашникова, д-р биол. наук, профессор
Д.Е. Каширин, д-р техн. наук, доцент
Л.Г. Каширина, д-р биол. наук, профессор
С.С. Козак, д-р биол. наук, профессор
А.А. Коровушкин, д-р биол. наук, профессор
М.Ю. Костенко, д-р техн. наук, профессор
В.И. Левин, д-р с.-х. наук, профессор
Н.В. Лимаренко, д-р техн. наук, профессор
Е.И. Лупова, д-р с.-х. наук, доцент
Ю.А. Мажайский, д-р с.-х. наук, профессор
В.П. Максименко, д-р с.-х. наук, профессор
Н.И. Морозова, д-р с.-х. наук, профессор
Ф.А. Мусаев, д-р с.-х. наук, профессор
М.Г. Мустафаев, д-р аграрных наук, доцент
А.И. Новак , д-р биол. наук, профессор
М.Д. Новак, д-р биол. наук, профессор
Г.В. Ольгаренко, д-р с.-х. наук, профессор
Г.К. Рембалович, д-р техн. наук, профессор
А.И. Рязанцев, д-р техн. наук, профессор
А.П. Савельев, д-р техн. наук, профессор
О.В. Савина, д-р с.-х. наук, профессор
В.Г. Семенов, д-р биол. наук, профессор
А.А. Симдянкин, д-р техн. наук, профессор
О.И. Соловьева, д-р с.-х. наук, профессор
В.И. Старовойтов, д-р техн. наук, профессор
О.А. Старовойтова, д-р с.-х. наук
Н.М. Троц, д-р с.-х. наук, профессор
И.А. Успенский, д-р техн. наук, профессор
Р.Н. Ушаков, д-р с.-х. наук, профессор
Д.И. Удавлиев, д-р биол. наук, профессор
Л.А. Храброва, д-р с.-х. наук, профессор
М.Н. Чаткин, д-р техн. наук, профессор
А.Ф. Шевхужев, д-р с.-х. наук, профессор
А.В. Шемякин, д-р техн. наук, профессор
И.А. Юхин, д-р техн. наук, профессор
К.Н. Дрожжин, канд. с.-х. наук, доцент
О.А. Федосова, канд. биол. наук, доцент

Компьютерная верстка и дизайн – **Н.В. Симонова**
Корректор – **Е.Л. Малинина**
Перевод – **В.В. Романов, И.В. Чивилева.**

Адрес редакции: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, ауд. 103, тел. 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru
Тираж 700.Первый завод 200. Заказ №1629
Дата выхода в свет 28.11. 2024

Регистрационная запись СМИ ПИ № ФС77-51956, зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфери связи, информационных технологий и масовых коммуникаций 29 ноября 2012 г.
Отпечатано в Издательстве ФГБОУ ВО РГАТУ. Адрес издательсва, типографии: г. Рязань, ул. Костычева, д. 1., ауд. 103. Цена издания 185 руб. 50 коп.
Подписной индекс издания в катологе "Пресса России" 82422

HERALD OF
RYAZAN STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Named after P.A. Kostychev

It is included in the list of peer-reviewed scientific publications, which should publish the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science, on scientific specialties and their respective branches of science:

4.1.1. *General agriculture and plant growing (Agricultural Sciences)*
4.1.3. *Agrochemistry, agricultural science, plant protection and quarantine (Agricultural Sciences)*
4.1.5. *Land reclamation, water management and agrophysics (Agricultural Sciences)*
4.1.5. *Land reclamation, water management and agrophysics (Technical Sciences)*
4.2.2. *Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Veterinary Sciences)*
4.2.2. *Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Biological Sciences)*
4.2.4. *Private zootechnics, feeding, feed preparation and livestock production technologies (Agricultural Sciences)*
4.2.5. *Breeding, selection, genetics and biotechnology of animals (Agricultural Sciences)*
4.2.5. *Breeding, selection, genetics and animal biotechnology (Biological Sciences)*
4.3.1. *Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Technical Sciences)*
4.3.1. *Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Agricultural Sciences)*
4.3.2*. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex (Technical Sciences)*

Scientific-Production Journal
Issued since 2009
Issued once a quarter
Vol. 16 # 4, 2024

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education ‘‘Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev’’

“RSATU Herald” EDITORIAL STAFF

Editor in Chief
S.N. Borychev,
Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Editor in Chief Deputy
G.K. Rembalovich,
Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Technical Editor
I.V. Chivileva,
Candidate of Psychological Sciences,
Associate Professor

Editorial Staff:

O.N. Didmanidze, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS
A.S. Dorokhov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS
Ya.P. Lobachevsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAS
Yu.Kh. Shogenov, Doctor of Technical Sciences, senior researcher, Academician of the RAS

N.G. Baiboboev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
S.N. Borychev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
D.V. Vinogradov, Doctor of Biology Sciences, Full Professor
M.A. Gabibov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
G.V. Gavardashvili, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
P.P. Gamayunov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
V.I. Zhelyazko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
O.A. Zakharova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
V.V. Kalashnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
E.A. Kalashnikova, Doctor of Biological. Sciences, Full Professor
D.E. Kashirin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
L.G. Kashirina, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
S.S. Kozak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
A.A. Korovushkin, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
M.Yu. Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
V.I. Levin, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
N.V. Limarenko, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
E.I. Lupova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
Yu. A. Mazhaysky, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
V.P. Maksimenko, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
N.I. Morozova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
F.A. Musaev, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
M.G. Mustafayev, Doctor of Agrarian Sciences, Associate Professor
A.I. Novak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
M.D. Novak, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
G.V. Olgarenko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
G.K. Rembalovich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
A.I. Ryazantsev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
A.P. Saveliev, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
O.V. Savina, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
V.G. Semenov, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
A.A. Simdyankin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
O.I. Solovyeva, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
V.I. Starovoitov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
O.A. Starovoitova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
N.M. Trots, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
D.I. Udavliev, Doctor of Biological Sciences, Full Professor
I.A. Uspenskiy, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
R.N. Ushakov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
L.A. Khrabrova, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
M.N. Chatkin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
A.F. Shevkhuzhev, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor
A.V. Shemyakin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
I.A. Yukhin, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
K.N. Drozhzhin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
O.A. Fedosova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Computer-Aided Makeup and Design – **N.V. Simonova**
Proof-Reader – **E.L. Malinina**
Translation – **V.V. Romanov, I.V. Chivileva**

Editorial address: 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1,103 room,
tel: 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru
Circulation 700. The first factory is 200.
Order No.1629
Date of publication. 28.12.2024.

A record CMI PI № FS77-51956, registered by the Federal service for supervision in the spherical of communications, information technology and public communications on November 29, 2012
Printed in the Publishing house of the RGATU. Address of the publishing house, printing house:
Ryazan, Kostycheva str., 1., room 103. the price of the publication is 185 rubles. 50 kopecks. Subscription index of the publication in the katologue "Press of Russia" 82422

Содержание

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Грибановская Е.В., Аношкина О.В. *Разработка методики определения формы и размера кристаллов сахара в меде* 5

Евсенина М.В. *Особенности выращивания сортов гороха посевного на фоне использования микробиологических препаратов* 12

Колесникова Т.А., Куликова М.А. *Применение глауконита для эффективного разделения жидких отходов свинокомплекса* 20

Левин В.И., Акулина И.А., Антипкина Л.А. *Ответная реакция физиологически разнокачественных семян яровой пшеницы на обработку Эмистимом, Р* 26

Морозов И.А. *Технология производства молока с использованием цифровой системы контроля здоровья и выявления коров в охоте* 36

Мусаев Ф.А., Морозов И.А. *Воспроизводительные особенности голштинских коров в зависимости от происхождения* 42

Петров О.Ю., Кузьмина Н.Н., Мусаев Ф.А., Созонова К.А., Козак С.С. *Оценка функциональных мясных хлебов с использованием антиоксиданта ликопин* 48

Юхина Д.Э. *Воспроизводительная способность джерсейских коров разных линий* 55

Захарова О.А., Евдокимова О.В., Евсенкин К.Н., Новак А.И., Шичков В.П. *Азональные особенности аллювиальной почвы Центральной поймы реки Оки* 60

Шемякин В.Б., Сайтханов Э.О., Мирзаев М.Н., Бессарабова Е.В. *Оценка токсикологических характеристик дезинфицирующего средства Авердез* 71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Филиппов В.П., Васильев С.А., Алексеев В.В., Максимов Е.А., Бачурин А.Н. *Оптимальное функционирование сельскохозяйственной техники на плантациях хмеля с применением интеллектуальных технологий* 78

Жбанов Н.С., Попков Н.Е., Чернышев А.Д., Официн С.И., Кирьяков О.В. *Исследование процесса воспламенения топливно-воздушной смеси в современных двигателях* 86

Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С., Лазарев Е.А., Власов Г.С. *Аналитическое исследование взаимосвязи условий хранения семенного картофеля в картофелехранилищах с последующей предпосадочной обработкой* 93

Костенко Н.М., Шемякин А.В., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Костенко Н.А. *Определение расположения и расчет параметров устройства для отслеживания погрузки силосной резки* 100

Мальчиков В.Н., Терентьев В.В., Юхин И.А., Успенский И.А., Рябчиков Д.С. *Влияние параметров транспортировки зерновой продукции на потребление топлива автомобильным транспортом* 107

Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Борычев С.Н., Юмаев Д.М. *Кинематический анализ активного встряхивателя элеватора в виде эксцентрикового ролика/* 115

Неверов Е.Н., Ширманова Г.С., Горелкина А.К., Владимиров А.А. *Разработка инкубатора на базе микроконтроллера Arduino для выведения сельскохозяйственной птицы* 122

Оковитая К.О., Макаренко В.Г., Суржко О.А. *Автоматизация работы двухреакторной установки для получения биогаза из отходов агропромышленного комплекса* 131

Онкаев А.В., Успенский И.А., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Пчельников И.В. *Особенности получения гипохлорита натрия электролизом из природных хлоридсодержащих вод (на примере Республики Калмыкия)* 136

Рязанцев А.И., Шогенов Ю.Х., Евсеев Е.Ю., Шленов С.Л. *Обоснование снижения колебания расхода воды на склонах электрифицированной дождевальной машиной* 146

Савельев А.П., Никифорова И.А., Кеян Е.Г., Тамошина О.А. *Обоснование выбора средств по обеспечению противопожарных мер на эксплуатируемой в сельском хозяйстве технике* 153

Храпова Т.Е., Фадеев И.В., Глинкин Б.Н., Лимаренко Н.В., Мурог И.А. *Очистка деталей грузовика от осажденной песчано-глинистой суспензии* 162

Чебанов А.Б., Стручаев Н.И., Адамова С.В., Чебанова Ю.В. *Исследование электрических свойств компонентов семян клещевины* 167

Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В. *Исследование физико-механических свойств органических загрязнений воскового сырья* 176

Юдаев Ю.А., Абрамов Ю.Н., Цыганов Н.В., Холоден И.В. *Математическое моделирование вибрации ленты транспортера* 183

Content

AGRICULTURAL SCIENCES

Gribanovskaya E.V., Anoshkina O.V. *Development of a methodology for determining the shape and size of sugar crystals in honey* 5

Evsenina M.V. *Features of growing varieties of peas background of the use of microbiological preparations* 12

Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. *The use of glauconite for the effective separation of liquid pig waste is shown* 20

Levin V.I., Akulina I.A., Antipkina L.A. *Response of physiologically different quality spring wheat seeds to treatment with emistim, R.* 26

Morozov I.A. *Milk production technology using digital health monitoring system and identification of cows in hunting* 36

Musaev F.A., Morozov I.A. *Reproductive characteristics of Holstein cows depending on their origin.* 42

Petrov O.Yu., Kuzmina N.N., Musaev F.A., Sozonova K.A., Kozak S.S. *Assessment of functional meat loaves using the antioxidant lycopene* 48

Yukhina D.E. *Reproductive ability of Jersey cows of different lines* 55

Zakharova O.A., Evdokimova O.V., Evsenkin K.N., Novak A.I., Shichkov V.P. *Azonal features of the alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River* 60

Shemyakin V.B., Saitkhanov E.O., Mirzaev M.N., Bessarabova E.V. *Assessment of the toxicological characteristics of the Averdez disinfectant* 71

TECHNICAL SCIENCES

Filippov V.P., Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Maksimov E.A., Bachurin A.N. *Optimal functioning of agricultural machinery on hop plantations using intelligent technologies Optimal functioning of agricultural machinery on hop plantations using intelligent technologies* 78

Zhbanov N.S., Popkov N.E., Chernyshev A.D., Officin S.I.,Kiryakov O.V. *Investigation of the ignition process of fuel-air mixture in modern engines* 86

Koloshein D.V, Borychev S.N., Popov A.S., Lazarev E.A., Vlasov G.S. *Theoretical analysis of air flow dynamics in a potato storage container* 93

Kostenko N.M., Shemyakin A.V., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. *Determination of the location and calculation of the parameters of the device for tracking the loading of silage cutter* 100

Malchikov V.N., Terentyev V.V., Yukhin I.A., Uspensky I.A., Ryabchikov D.S. *Influence of grain product transportation parameters on fuel consumption by road* 107

Molokonova L.O., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Borychev S.N., Yumaev D.M. *Kinematic analysis of an active elevator shaker in the form of an eccentric roller* 115

Neverov E.N., Shirmanova G.S., Gorelkina A.K., Vladimirov A.A. *Development of an incubator based on the A rduino microcontroller for breeding agricultural poultry* 122

Okovitaya K.O., Makarenko V.G., Surzhko O.A. *Description of the scheme for obtaining biogas from organic waste* 131

Onkaev A.V., Uspensky I.A., Limarenko N.V., Yukhin I.A., Pchelnikov I.V. *Features of obtaining sodium hypochlorite by electrolysis from natural chloride-containing waters (on the example of the Republic of Kalmykia)* 136

Ryazantsev A.I., Shogenov Yu.H., Evseev E.Yu., Shlenov S.L. *Justification for reducing fluctuations in the consumption of water on the slopes of an electrified sprinkler machine* 146

Savelyev A.P., Nikiforova I.A., Keyan Ye.G., Tamoshina O.A. *Justification of the choice of means to ensure fire protection measures on equipment used in agriculture* 153

Khrapova T.E., Fadeev I.V., Glinkin B.N., Limarenko N.V., Murog I.A. *Cleaning truck parts from precipitated sand-clay slurry* 162

Chebanov A.B., Struchaev N.I., Adamova S.V., Chebanova Yu.V. *Study of electrical properties of the components of kleshchevina seeds* 167

Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Alekseev A.N., Pavlov V.V., Kurakin D.V. *Study of physical and mechanical properties of wax raw materials organic contaminants* 176

Yudaev Yu.A., Abramov Yu.N., Tsyganov N.V., Kholoden I.V. *Mathematical modeling of conveyor belt vibration* 183

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с.5-11
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.5-11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 637.07
DOI: 10.36508/RSATU.2024.61.68.002

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ И РАЗМЕРА КРИСТАЛЛОВ САХАРА В МЕДЕ

Елена Витальевна Грибановская [1], Ольга Владимировна Аношкина [2] ✉

[1,2] ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», г. Рыбное, Россия

[1] vitlenag@yandex.ru
[2] owl202124@xmail.ru

Аннотация
Проблема и цель. *Фальсификация меда – хорошо известная проблема, и существует множество аналитических методов для установления фальсификации с использованием различных видов сахара и дешевых сахарных сиропов. Однако для пчеловодов и потребителей не всегда доступны лаборатории, выполняющие вышеперечисленные рутинные анализы. В этой связи в рамках данного исследования было актуально изучить образцы разных видов меда под микроскопом для более точного определения характера кристаллизации и возможности выявления фальсификации меда при помощи сахара.*
Методология. *При проведении испытаний были использованы образцы меда разных видов, среди которых имелись как темно-желтые, так и светло-желтые образцы жидкого и закристаллизованного меда. Микроскопический метод основан на определении формы и размеров кристаллов сахара в меде с применением программы обработки изображений для микроскопа. Небольшую каплю меда помещали на предметное стекло и накрывали покровным стеклом. Форма и размер кристаллов сахара определялись под увеличением в 40 и 400 крат. Для каждого образца меда готовили не менее трех покровных стекол и определяли размеры 10 самых крупных кристаллов.*
Результаты. *Кристаллы сахара (сахарозы) имеют условно правильную многоугольную форму «булыжника» (квадратные, прямоугольные, неправильные геометрические формы) и напоминают шестиугольную призму. Края кристаллов сахарозы часто более острые, как правило, правильной геометрической формы. При микроскопическом исследовании мазка натурального кристаллизованного меда можно наблюдать игольчатые кристаллы глюкозы, представляющие собой «палочки» и «волосы» – кристаллы, имеющие удлиненное и неправильное строение. Размер кристаллов сахарозы колеблется от 0,2 до 2,5 мм, в то время как кристаллы глюкозы обычно не превышают 1 мм в длину. Следовательно, как форма, так и размер кристаллов имеют существенное значение для производства качественного меда, что делает анализ кристаллической структуры сахара в меде крайне важным.*
Заключение. *Создание методики определения формы и размера кристаллов меда под микроскопом представляет особый интерес. Описанный способ является дополнительным инструментом, пополняющим арсенал методик определения качества и натуральности пчелиного меда. Поэтому разработка более совершенной и простой методики, обеспечивающей высокую достоверность и воспроизводимость результатов, является актуальной.*

Ключевые слова: *кристаллизация, сахароза, глюкоза, мед, микроскопия, форма кристаллов, размер кристаллов*

© Грибановская Е.В., Аношкина О.В., 2024 г.

Для цитирования: *Грибановская Е.В., Аношкина О.В. Разработка методики определения формы и размера кристаллов сахара в меде // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.5-11 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.61.68.002*

Original article

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING THE SHAPE AND SIZE OF SUGAR CRYSTALS IN HONEY

Elena V. Gribanovskaya[1], Olga V. Anoshkina[2] ✉

[1,2] Federal Scientific Center of Beekeeping, Rybnoye, Russia

[1] vitlenag@yandex.ru
[2] owl202124@xmail.ru

Annotation
Problem and purpose. *Honey adulteration is a well-known problem, and there are many analytical methods to establish adulteration using various types of sugar and cheap sugar syrups. However, laboratories performing the above routine analyses are not always available to beekeepers and consumers.In this regard, as part of this study, it was important to study samples of different types of honey under a microscope to more accurately determine the nature of crystallization and the possibility of detecting its adulteration with sugar.*
Methodology. *During the tests, honey samples of various types were used, among which there were both dark yellow and light yellow samples of liquid and crystallized honey. The microscopic method is based on determining the shape and size of sugar crystals in honey using an image processing program for a microscope. A small drop of honey was placed on a slide and covered with a cover glass. The shape and size of sugar crystals were determined by magnification of 40 and 400 times. At least three cover glasses were prepared for each honey sample and the sizes of the 10 largest crystals were determined.*
Results. *Sugar crystals (sucrose) have a conventionally regular polygonal "cobblestone" shape (square, rectangular, irregular geometric shapes) and resemble a hexagonal prism. The edges of sucrose crystals are often sharper, usually with a regular geometric shape. When microscopically examining a smear of natural crystallized honey, needle-like glucose crystals can be observed, representing "sticks" and "hair" - crystals having an elongated and irregular structure. The size of sucrose crystals ranges from 0.2 to 2.5 mm, while glucose crystals usually do not exceed 1 mm in length. Therefore, both the shape and the size of the crystals are essential for the production of high-quality honey, which makes the analysis of the crystal structure of sugar in honey extremely important.*
Conclusion. *The creation of a technique for determining the shape and size of honey crystals under a microscope is of particular interest. The presented method is an additional tool that replenishes the arsenal of methods for determining the quality and naturalness of bee honey. Therefore, the development of a more advanced and simple methodology that ensures high reliability and reproducibility of the results is relevant.*
Key words: *crystallization; sucrose; glucose; honey; microscopy; crystal shape; crystal size*
For citation: *Gribanovskaya E.V., Anoshkina O.V. Development of a methodology for determining the shape and size of sugar crystals in honey // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P.5-11 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.61.68.002*

Введение

Кристаллизация (садка) меда – это процесс естественного перехода вещества из жидкого, сиропообразного физического состояния в другое, более твердое, кристаллическое. Сахар при этом принимает очерченные геометрические формы, полностью сохраняя ценные качества продукта.

Сахаров в меде три вида – фруктоза, глюкоза и сахароза, которой совсем мало. Любое растворенное вещество, присутствующее в растворителе выше его насыщенности, выкристаллизовывается, то же самое происходит и с медом [7].

Глюкоза является основным компонентом, который кристаллизуется в меде, поскольку он существует в перенасыщенном состоянии, и осаждается в виде моногидрата глюкозы [7,10].

Начальная стадия кристаллизации зависит от различных факторов, важнейшим из которых является соотношение глюкозы и воды, а также фруктозы и глюкозы в меде. Когда мед кристаллизуется, это означает, что глюкоза в меде отделяется от воды и образует твердые кристаллы: чем больше глюкозы, тем быстрее этот процесс, и наоборот – чем больше фруктозы, тем дольше мед остается жидким. Молекулы глюкозы начинают притягиваться и соединяться друг с другом, что приводит к образованию кристаллов [11].

Соотношение глюкозы и фруктозы в меде варьируется в зависимости от источника нектара и играет решающую роль в определении скорости и степени кристаллизации.

Например, мед с цветков одуванчика кристаллизуется быстрее всего (примерно за 2-3 дня - неделю), а мед с разнотравья (в зависимости от

источника собранного нектара) кристаллизуется через 2-3 месяца после откачки из сотов.

Естественный процесс, в ходе которого мед переходит из жидкого состояния в более твердое, называется кристаллизацией или засахариванием. Кристаллизация меда начинается через 1-10 недель после откачивания, в зависимости от сорта меда, температурных условий и т. д. Кристаллизация – это признак зрелого меда и верный признак его натуральности [3].

Высокая цена и растущий спрос на мед стимулируют недобросовестных пчеловодов и торговцев подделывать мед, добавляя в него различные фальсификаты, ухудшающие потребительские свойства. Способы фальсификации разнообразны: от легко обнаруживаемых подделок (механические примеси, такие как мел, мука, крахмал и т. д.) до «профессиональных» подделок, которые гораздо сложнее обнаружить [5].

В большинстве случаев мед может быть фальсифицирован более дешевыми подсластителями, или косвенно – путем скармливания сахара пчелам. Фальсификация меда – хорошо известная проблема, и существует множество аналитических методов для установления фальсификации с использованием различных видов сахара и дешевых сахарных сиропов. Однако для пчеловодов и потребителей не всегда доступны лаборатории, выполняющие вышеперечисленные рутинные анализы.

В этой связи в рамках данного исследования было актуально изучить образцы разных видов меда под микроскопом для более точного определения характера кристаллизации и возможности выявления фальсификации меда при помощи сахара.

Материалы и методы исследования

В тестах использовались образцы различных видов меда, включая темно- и светло-янтарный жидкий и севший мед, что было обусловлено различным происхождением преобладающего в них нектара. Для сравнения исследовали также различные сахара (глюкозу, сахарозу), которые составляют 80 и более процентов в составе меда, кремовый и фальсифицированный мед. Схема проведения опыта представлена на рисунке 1.

Рис. 1 – Схема опыта
Fig. 1 – The scheme of the experience

Препараты просматривали под биологическими микроскопами Olympus X41 и Микромед 3 (U2) в режиме светлого поля при увеличении х 40, х 400 крат. Для вывода изображения на экран монитора использовалась цифровая usb-камера для микроскопа и программное обеспечение обработки изображений для цифровых камер Levenhuk ToupView. Для приготовления препаратов – стекла предметные (ГОСТ 9284) и стекла покровные (ГОСТ 6672).

Микроскопический метод основан на определении формы и размеров кристаллов сахара в меде с применением программы обработки изображений для микроскопа. Всего было проведено 120 измерений. Размер кристалла измеряли в продольной плоскости. Все кристаллы были разделены на три группы в соответствии с их размером. Затем было определено среднее арифметическое значение размера кристаллов в каждой группе.

Определение инвертированного сахара и сахарозы проводили феррицианидным методом путем окисления сахаров в щелочном растворе красной кровяной соли (ГОСТ 32167) [1].

Качественную реакцию Селиванова-Фиге – на ГМФ по ГОСТ 31768 [2].

Для настраивания микроскопа следует отка-

либровать камеру с 4-кратным объективом. Калибровку микроскопа и определение размера кристаллов проводили при помощи программы LevenhukLite.

Небольшую каплю меда помещали на предметное стекло и накрывали покровным стеклом. Форма и размер кристаллов сахара определялись под увеличением в 40 и 400 крат. Для каждого образца меда готовили не менее трех покровных стекол и определяли размеры 10 самых крупных кристаллов.

Исследования проводили в трехкратной повторности. Обработку экспериментальных данных осуществляли в программе Microsoft Excel. Результаты представлены в виде среднего значения со стандартным отклонением.

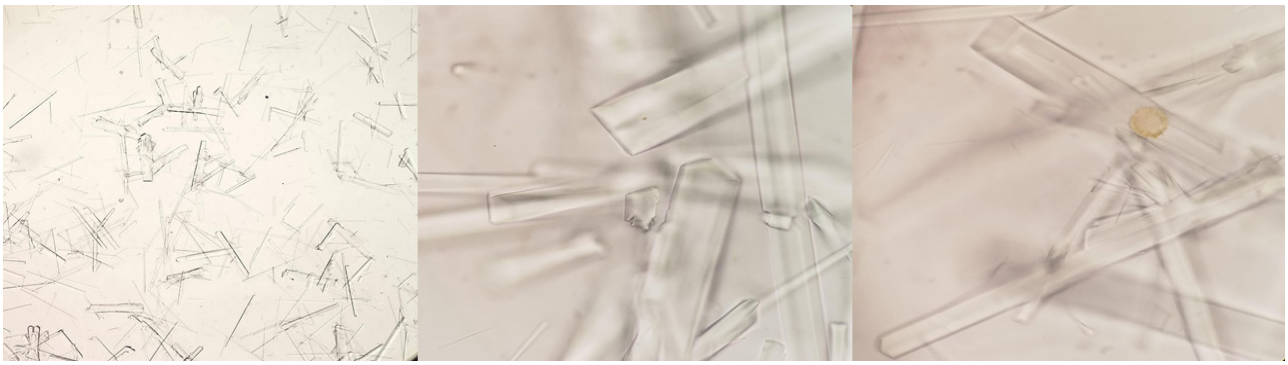
Результаты исследований и их обсуждение

Кристаллы сахара (сахарозы) имеют условно правильную многоугольную форму «булыжника» (квадратные, прямоугольные, неправильные геометрические формы) и напоминают шестиугольную призму. Края кристаллов сахарозы часто более острые, как правило, правильной геометрической формы.

При микроскопическом исследовании мазка натурального кристаллизованного меда можно наблюдать игольчатые кристаллы глюкозы, представляющие собой «палочки» и «волосы» – кристаллы, имеющие удлиненное и неправильное строение.

Размер кристаллов сахарозы колеблется от 0,2 до 2,5 мм, в то время как кристаллы глюкозы обычно не превышают 1 мм в длину. Такого сахара в натуральном меде должно быть мало – не более 5,0 %, а вместе с другими полисахаридами (мальтоза, изомальтоза, мелицитоза, кестоза, паноза и др.), которые могут выглядеть похоже, – не более 8,0 %.

Дальнейшее увеличение показывает правильную форму и ровность граней кристаллов.

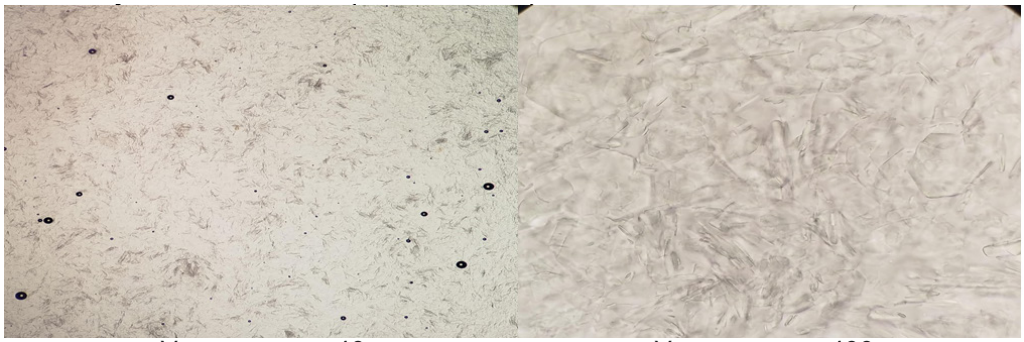


Увеличение х 40 Увеличение х 400

Рис. 2 – Фальсифицированный мед (образец № 2)
Fig. 2 – Adulterated honey (sample № 2)

Кристаллы могут отсутствовать полностью, если мед совсем свежий или прошел термическую обработку, что приводит не только к разрушению кристаллической структуры сахара, но и к утрате множества ценных микроэлементов. В начале процесса кристаллизации в чистом жидком меде содержалось только небольшое количество пыльцевых зерен и пузырьков воздуха (образец №1).

Кристаллы гидратированной глюкозы принадлежат к моноклинической системе и имеют вид тонких гемиморфных пластин. В меде глюкоза, которая кристаллизовалась, формирует нити, напоминающие иголки или звезды (рис. 3). Глюкоза проявляет полиморфизм; это означает, что при различных условиях кристаллизации она образует кристаллы, относящиеся к разным кристаллическим системам, а также кристаллы, отличающиеся по размеру и форме внутри одной и той же системы. При микроскопическом исследовании мазка натурального кристаллизованного меда можно наблюдать игольчатые кристаллы глюкозы, представляющие собой «палочки» и «волосы» – кристаллы, имеющие удлиненное и неправильное строение.



Увеличение х 40 Увеличение х 400

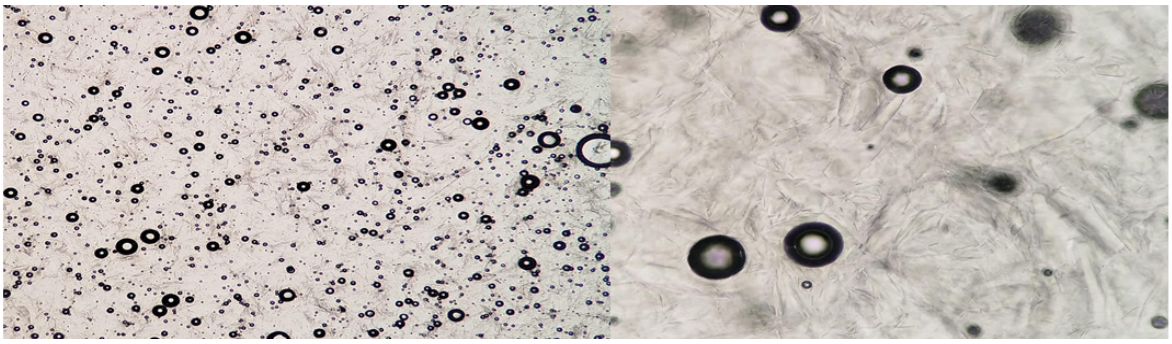
Рис. 3 – Натуральный мед, мелкие кристаллы (образец № 3)
Fig. 3 – Natural honey, small crystals (sample № 3)

В меде с крупными кристаллами, которые можно увидеть невооруженным глазом, жидкая часть почти полностью преобразилась в пленку, создавая множество изгибов и складок. Мед утратил свою текучесть.

Увеличение х 40 Увеличение х 400

Рис. 4 – Натуральный мед, крупные кристаллы (образец № 4)
Fig. 4 – Natural honey, large crystals (sample № 4)

В кремообразных медах, созданных путем перемешивания, образовалась тонкая микрокристаллическая пленка, насыщенная множеством пузырьков воздуха. Эти пузырьки имеют округлую форму и обрамлены черной каймой.



Увеличение х 40 Увеличение х 400

Рис. 5 – Кремовый мед (образец № 5)
Fig. 5 – Cream honey (sample № 5)

По сведениям Угринович Б.А., Фарамазян А.С. (2001) «Закристаллизованный мед подразделяют на крупнозернистый (размер кристаллов более 0,5 мм), мелкозернистый (0,04-0,5 мм), салообразный, или крем-мед (не более 0,04 мм)». Наибольшей популярностью пользуется крем-мед, который славится своей деликатной структурой – кристаллы в нем не видны и не ощущаются на языке, что делает его легко намазываемым, в то время как крупные кристаллы могут оставлять неприятное послевкусие [6].

В настоящее время размер кристаллов преимущественно измеряют при помощи микроскопических методов [4,8,9], а в некоторых случаях – через лазерную дифракцию [4]. Размер кристаллов сахарозы колеблется от 0,2 до 2,5 мм, в то время как кристаллы глюкозы обычно не превышают 1 мм в длину. Следовательно, как форма, так и размер кристаллов имеют существенное значение для производства качественного меда, что делает анализ кристаллической структуры сахара в меде крайне важным.

С целью определения достоверности полученных данных результаты микроскопического анализа препаратов сравнивали с содержанием глюкозы, фруктозы и сахарозы в меде и с показаниями ГМФ.

Таблица 1 – Результаты определения качества образцов меда

Показатели	Опытные образцы меда			
	№1	№2	№3	№4
Форма кристаллов	Правильная	Игольчатая	Игольчатая	Игольчатая
Размер кристаллов, мм	2,055±0,57	0,65±0,35	0,037±0,039	0,03±0,014
Массовая доля редуцирующих сахаров, %	70,8±5,6	79,0±6,3	74,0±5,9	72,3±5,7
Массовая доля сахарозы, %	12,2±1,3	3,0±0,3	1,5±0,16	3,0±0,3
Качественная реакция на ГМФ	положительная	отрицательная	отрицательная	отрицательная

Внесение сахарного сиропа в мед можно определить по содержанию в нем сахарозы. Содержание сахарозы должно быть менее 6 % для цветочного меда и 10 % для падевого. Для меда из белой акации и хлопчатника эти показатели составляют 10 % и 5 % соответственно. Количество сахарозы в сахарном (фальсифицированном) меде достигало 12,2 %, что подтверждалось размером (2,055 ± 0,57) и правильной геометрией кристаллов.

В образцах натурального меда размер кристаллов варьировался в пределах 0,65-0,03 мм и соответствовал критериям крупнозернистой и салообразной кристалиизации.

Качественная реакция на оксиметилфурфурол служит для определения в меде примеси искусственно инвертированного сахара и определения прогревания меда. В образце №1 было обнаружено увеличение содержания гидрооксиметилфурфурола, что также может свидетельствовать о нагревании или фальсификации меда сахаром.

Заключение

Рано или поздно любой мед кристаллизуется. При исследовании под микроскопом даже самого свежего и светлого меда можно обнаружить мельчайшие кристаллы сахара. Отсутствие кристаллических структур может указывать как на свежесть меда, так и на то, что он подвергался термической обработке. Процесс кристаллизации меда также является признаком его натуральности. Результаты наших исследований показали зависимость между углеводным составом меда и формой кристаллов. При просмотре под микроскопом кристаллы натурального меда обычно имеют игольчатую или звездчатую форму. Кристаллы сахарозы, напротив, могут быть квадратными, прямоугольными, как правило, правильной геометрической формы.

В этой связи разработка методики определения формы и размера кристаллов меда под микроскопом представляет особый интерес. Указанный способ является дополнительным инструментом, пополняющим арсенал методик определения качества и натуральности пчелиного меда. Следовательно, создание более совершенной и простой методики, обеспечивающей высокую достоверность и воспроизводимость результатов, является актуальным.

Список источников

1. ГОСТ 32167-2013 «Мед. Метод определения сахаров» [Текст]. // – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 12 с.

2. ГОСТ 31768 - 2012 «Мед натуральный. Методы определения гидрооксиметилфорфураля» [Текст]. // – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 14 с.

3. Грибановская Е.В. Дюкова В.С. Состав и свойства кремового меда. Е.В. Грибановская, В.С. Дюкова [Текст]. // Пчеловодство. -2024. - №6. – С.48-49.

4. Исследование вариаций содержания инвертазы и глюкозооксидазы в зависимости от вариантов нагрева и времени приготовления в сыром меде //H Sahin, S Kolayli, M Beykaya/ Химический журнал, 2020./Wiley. URL https://scholar.google.com/scholar_lookup

5. Курт А, Палабийик И, Гунес Р, Конар Н, Токер О.С. Определение фальсификации меда методом посева: первоначальное исследование с подсолнечным медом. Пищевые аналитические методы 2020;13(4):952–961.URL https://doi.org/10.1007/s12161-020-01711-9 (дата обращения 15.05.2024)

6. Угринович Б.А., Фарамазян А.С. Особенности кристаллизации меда. Б.А. Угринович, А.С. Фармазян [Текст].// Пчеловодство.-2001.-№ 4.-С. 57-58.

7. Шафик Х., Ифтихар Ф., Ахмад А., Калим М., Саир А.Т. Влияние кристаллизации на водную активность меда. Международный журнал наук о пищевых продуктах и питании 2012;3(3):1–6. URLhttps://www.academia.edu/8070694/Effect_of_crystallization_on_the_water_activiti_of_honey

8. A. Dettori, S. Tappi, L. Pianta, M.D. Rosa, P. Rocculi, Kinetic of induced honey crystallisation and related evolution of structural ans physical properties, LWT (2018) Food Science and Technology, URL https://www.researchgate.net/publication/324905737 .- doi:10.1016/j.lwt.2018.04.092.

9. A. Quintero-Lira, A. Angeles-Santos, G. Aguirre-Alvarez, A. Reyes-Munguia, I. Almarez-Buendia, R.G. Campos-Montiel, Effects of liquefying crystallized honey by ultrasound on crystal size, 5-hydroxamethylfurfural, colour, Phenolic Compounds and antioxidant activity, Eur. Food Res. Technol. 243 (2017) 619–626, URL https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-016-2775-0.- doi:10.1007/s00217-016-2775-0.

10. L.C. Costa, E. Kaspchak, M.B. Queiros, M.M. de Almeida, e Quast, L.B. Quast, Influence of temperature and homogenisation on honey crystallisation, Braz. J. Food Technol. 18 (2015)155–161,URL https://www.researchgate.net/publication/282481752. - doi:10.1590/1981-6723.7314

11. Jd Kerkvliet, M Shrestha, K Tuladhar, H Manandhar. Microscopic detection of adulteration of honey with cane sugar and cane sugar products. Apidologie, 1995, 26 (2), pp.131-139. ffhal-00891253f. URL https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.044

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

References

1.GOST 32167-2013 «Med. Metod opredeleniya sakharov» [Tekst]. // – M.: Izd-vo standartov, 2018. – 12 s.

2.GOST 31768 - 2012 «Med natural'nyy. Metody opredeleniya gidrooksimetilforfuralya» [Tekst]. // – M.: Izd-vo standartov, 2019. – 14 s.

3.Gribanovskaya Ye.V. Dyukova V.S. Sostav i svoystva kremovogo meda. Ye.V. Gribanovskaya, V.S.

Dyukova [Tekst]. // Pchelovodstvo. -2024. - №6. – S.48-49.

4.Issledovaniye variatsiy soderzhaniya invertazy i glyukozooksidazy v zavisimosti ot variantov nagreva i vremeni prigotovleniya v syrom mede //H Sahin, S Kolayli, M Beykaya/ Khimicheskiy zhurnal, 2020./Wiley. URL https://scholar.google.com/scholar_lookup

5.Kurt A, Palabiyik I, Gunes R, Konar N, Toker O.S. Opredeleniye fal'sifikatsii meda metodom poseva: pervonachal'noye issledovaniye s podsolnechnym medom. Pishchevyye analiticheskiye metody 2020;13(4):952–961.URL https://doi.org/10.1007/s12161-020-01711-9

6.Ugrinovich B.A., Faramazyan A.S. Osobennosti kristallizatsii meda. B.A. Ugrinovich, A.S. Farmazyan [Tekst].// Pchelovodstvo.-2001.-№ 4.-S. 57-58.

7.Shafik KH., Iftikhar F., Akhmad A., Kalim M., Sair A.T. Vliyaniye kristallizatsii na vodnuyu aktivnost' meda. Mezhdunarodnyy zhurnal nauk o pishchevykh produktakh i pitanii 2012;3(3):1–6.URLhttps://www.academia.edu/8070694/Effect_of_crystallization_on_the_water_activiti_of_honey

8.A. Dettori, S. Tappi, L. Pianta, M.D. Rosa, P. Rocculi, Kinetic of induced honey crystallisation and related evolution of structural ans physical properties, LWT (2018) Food Science and Technology, URL https://www.researchgate.net/publication/324905737- doi:10.1016/j.lwt.2018.04.092.

9.A. Quintero-Lira, A. Angeles-Santos, G. Aguirre-Alvarez, A. Reyes-Munguia, I. Almarez-Buendia, R.G. Campos-Montiel, Effects of liquefying crystallized honey by ultrasound on crystal size, 5-hydroxamethylfurfural, colour, Phenolic Compounds and antioxidant activity, Eur. Food Res. Technol. 243 (2017) 619–626, URL https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-016-2775-0.- doi:10.1007/s00217-016-2775-0.

10.L.C. Costa, E. Kaspchak, M.B. Queiros, M.M. de Almeida, e Quast, L.B. Quast, Influence of temperature and homogenisation on honey crystallisation, Braz. J. Food Technol. 18 (2015)155–161,URL https://www.researchgate.net/publication/282481752.

11.Jd Kerkvliet, M Shrestha, K Tuladhar, H Manandhar. Microscopic detection of adulteration of honey with cane sugar and cane sugar products. Apidologie, 1995, 26 (2), pp.131-139. ffhal-00891253f. URL https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.044

Contribution of the authors:
All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Грибановская Елена Витальевна, канд. с-х наук, доцент, вед. научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», г. Рыбное, Россия, vitlenag@yandex.ru

Аношкина Ольга Викторовна, мл. научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», г. Рыбное, Россия, owl202124@xmail.ru

Author Information

Gribanovskaya Elena V., PhD. PhD, Associate Professor, Senior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "FNC of Beekeeping", Rybnoye, Russia, vitlenag@yandex.ru

Anoshkina Olga V., Jr. Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "FNC of Beekeeping", Rybnoye, Russia, owl202124@xmail.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 09.10.20; approved after review 18.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 12-19
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 12-19

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.358: 631.8
DOI: 10.36508/RSATU.2024.27.64.003

ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ СОРТОВ ГОРОХА ПОСЕВНОГО НА ФОНЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Марина Владимировна Евсенина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

marina.vlady@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Целью проведенных исследований явилась оценка влияния микробиологических препаратов на урожайность и качество гороха разных сортов в условиях Рязанской области.*
Методология. *Опыты были заложены в 2023-2024 гг. на серой лесной тяжелосуглинистой почве. Объектами исследования явились сорта гороха Астронавт, Остинато, Рокет, Родник и Спартак, а также, микробиологические препараты Planteco горох RL45, Ризоторфин и Мизорин. Горох выращивался по технологии, соответствующей зональным рекомендациям для Нечерноземной зоны. Посев проводили узкорядным способом с нормой высева 0,8 млн шт./га, предшественник – озимая пшеница. Оценку посевных качеств семян, накопления зеленой массы, процесса образования клубеньков и урожайности проводили по стандартным методикам.*
Результаты. *Микробиологические препараты обеспечили получение более крупных семян гороха. Масса 1000 зерен по вариантам с применением Planteco горох RL45 превысила контроль на 1,8-6,3 г; с использованием Ризоторфина масса увеличилась на 2,1-6,1 г; при совместном применении препаратов Ризоторфин и Мизорин – на 2,8-9,3 г. Наиболее высокую урожайность в среднем по годам исследований показал горох сортов Астронавт, Остинато и Рокет по вариантам опыта. Максимальная урожайность гороха была отмечена у сорта Остинато на варианте Ризоторфин + Мизорин (29,7 ц/га). Наибольшая прибавка массовой доли белка отмечена на горохе сорта Родник (1,1 %) и Остинато (1,0 %) при совместном применении Ризоторфина и Мизорина.*
Заключение. *Результаты исследований позволили определить влияние разных микробиологических препаратов на структуру урожая и урожайность гороха сорта Астронавт, Остинато, Рокет, Родник и Спартак.*

Ключевые слова: *горох, микробиологические препараты, урожайность, структура урожая, белок, зерно, качество*

Для цитирования: *Евсенина М.В. Особенности выращивания сортов гороха посевного на фоне использования микробиологических препаратов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.12-19 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.27.64.003*

Original article

FEATURES OF GROWING VARIETIES OF PEAS BACKGROUND OF THE USE OF MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS

Marina V. Evsenina

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

marina.vlady@mail.ru

Abstract.
Problem and purpose. *The aim of the conducted research was to assess the influence of microbiological preparations on the yield and quality of peas of different varieties in the conditions of the Ryazan region.*
Methodology. *The experiments were carried out in 2023-2024 on grey forest heavy loam soil. The objects of the study were the pea varieties Astronaut, Ostinato, Roket, Rodnik and Spartak, as well as the microbiological preparations Planteco peas RL45, Rizotorfin and Mizorin. The peas were grown using the technology*

© Евсенина М.В., 2024 г.

corresponding to the zonal recommendations for the Non-Chernozem zone. Sowing was carried out in narrow rows with a seeding rate of 0.8 million pcs./ha, the predecessor was winter wheat. The sowing qualities of seeds, the accumulation of green mass, the process of nodule formation and the yield were assessed using standard methods.

Results. *Microbiological preparations ensured obtaining larger pea seeds. The weight of 1000 grains in the variants with the use of Planteco pea RL45 exceeded the control by 1.8-6.3 g, with the use of Rizotorfin it increased by 2.1-6.1 g, with the combined use of Rizotorfin and Mizorin - by 2.8-9.3 g. The highest yield on average over the years of research was shown by pea varieties Astronaut, Ostinato and Rocket in the experimental variants. The maximum pea yield was noted in the Ostinato variety in the Rizotorfin + Mizorin variant (29.7 c/ha). The greatest increase in the mass fraction of protein was noted in pea varieties Rodnik (1.1 %) and Ostinato (1.0 %) with the combined use of Rizotorfin and Mizorin.*

Conclusion. *The results of the research made it possible to determine the influence of different microbiological preparations on the structure of the crop and the yield of peas of the Astronaut, Ostinato, Rocket, Rodnik and Spartak varieties.*

Key words: *peas, microbiological preparations, yield, crop structure, protein, grain, quality*

For citation: *Evsenina M.V. Features of growing varieties of peas background of the use of microbiological preparations // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P.12-19 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.27.64.003*

Введение

В комплексе мероприятий по повышению урожайности зернобобовых культур и увеличению содержания протеина особое место должны занимать приемы инокуляции семян зернобобовых культур [3,12].

Использование микробиологических удобрений с целью инокуляции семян на современном этапе развития является неотъемлемой составляющей для получения высоких урожаев бобовых культур [1,13]. В связи с этим проектирование различных механизмов использования микробиологических препаратов с целью обработки семенного материала бобовых культур представляет собой перспективное направление исследований [4,10].

Проведение обработки семян бобовых культур инокулянтами представляет собой эффективный способ при условии возделывания на почвах с кислой реакцией среды, что способствует увеличению количества и качества урожая [6]. При этом стоит отметить, что применение микробиологических препаратов для обработки семян бобовых культур нежелательно на хорошо известкованных почвах [8]. Для каждой культуры рекомендовано использовать узкоспециализированные препараты [9,11].

Стоит осуществлять систематическую работу по увеличению активности и стабильности микроорганизмов и селекции бобовых культур с целью роста результативности использования клубеньковых бактерий, что будет способствовать их более эффективному сосуществованию [2, 5]. В связи с этим приобретает особое значение коллективное взаимодействие агрономов, биологов, биохимиков и селекционеров [7].

Целью проведения исследований являлось изучение воздействия микробиологических препаратов на продуктивность сортов гороха посевного в условиях Рязанского района Рязанской области.

Материалы и методы исследования

Опыты проводились в 2023-2024 гг. в УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области.

Объектом исследований был горох посевной сортов Астронавт, Остинато, Рокет, Родник и Спартак, а также микробиологические препараты Planteco горох RL45, Ризоторфин-Б и Мизорин.

Препарат Planteco Горох RL45 представляет собой порошок, содержащий живые клетки бактерий Rhizobium leguminosarum с титром не менее $2x10^9$ КОЕ/г и продукты их метаболизма.

Ризоторфин-Б относится к группе микробиологических удобрений и включает в свой состав бактерии рода Rhizobium sp, культивированных на субстрате из торфа. При этом в его состав также входят минеральные вещества, микроэлементы, углеводы и витамины. Содержание активных клубеньковых бактерий – не менее 2,5 млрд/г.

Мизорин является биологическим стимулятором роста, азотфиксатором и осмопротектором, содержащим бактерии Arthrobacter mysorens в количестве 8-10 млрд клеток/г.

Опыты закладывали и проводили в соответствии с методическими указаниями Доспехова Б.А. (1985).

Обработка семян перед посевом проводилась путем предпосевного опрыскивания при помощи ранцевого опрыскивателя Жук ОГ-115. Рабочий раствор препарата использовали в день обработки после вскрытия упаковки и приготовления.

В лабораторных условиях у семян гороха определяли энергию прорастания и лабораторную всхожесть. Опытные образцы семян гороха проращивали в растильнях на фильтровальной бумаге при её постоянном увлажнении. Растильни помещали в термостат при температуре 20° С на 8 суток. Энергию прорастания определяли на четвертые сутки, а лабораторную всхожесть – на седьмые.

Анализ почвы опытного участка проводили в лабораториях «Станция агрохимической службы «Рязанская» и ФГБОУ ВО РГАТУ. Исследования проводились по общепринятым методикам. По Кирсанову определяли количество подвижного фосфора и калия в почве с использованием фотоэлектрокалориметра и плазменного фотометра. По Тюрину устанавливали содержание гумуса.

Фенологические наблюдения за опытными растениями по Коломейченко В.В. и Федотову В.А. (1996) заключались в фиксации начала фаз (25 %

растений) развития растений и их полного наступления (75 % растений) на протяжении вегетационного периода.

Количество и размер клубеньков оценивали по методике Г.С. Посыпанова.

Содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка» методом Кьельдаля, который заключается в минерализации органического вещества серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сульфата аммония, разрушении сульфата аммония щелочью с выделением аммиака, отгонке аммиака водяным паром в раствор серной или борной кислоты с последующим титрованием.

Учет урожая проводили сноповым методом в период полной спелости зерна. Урожайные данные приведены к стандартной влажности и 100 % чистоте.

Полевые работы в УНИЦ «Агротехнопарк» проводились в оптимальные агротехнические сроки в соответствии с существующими зональными рекомендациями. Предшественником гороха ежегодно была озимая пшеница.

Обработка почвы включала следующие этапы: 1) вспашка (Peresvet ППО-7-35 Алмаз + К-744Р) зяби (осень) на глубину 20-22 см после уборки озимой пшеницы; 2) боронование (БЗСС-1,0 + МТЗ-1221) ранней весной в два следа; 3) культивация (КПС-4,2 + МТЗ-1221) весной на глубину 12-14 см; 4) культивация (КПЭ-3,8 + МТЗ-1221) перед посевом на глубину 2-4 см; 5) предпосевное внесение (РУН-1 + МТЗ-1221) минеральных удобрений в норме $N_{75}P_{60}K_{60}$.

Горох высевался в ранние сроки при созревании почвы. Посев (ССНП-16 + МТЗ-1221) проводили в третью декаду апреля узкорядным способом с нормой высева 0,8 млн шт./га на глубину 2-3 см с последующим прикатыванием (ЗККШ-6А+МТЗ-1221). Уход за посевами включал в себя проведение гербицидных, инсектицидных и фунгицидных обработок. Уборку (селекционный комбайн SR2010) прямым комбайнированием осуществляли в первой декаде августа.

Серые лесные тяжелосуглинистые почвы опытного участка имели количество гумуса от 2,79 % до 3,38 % при среднекислой (РН = 5,41) реакции почвенного раствора и средней (1,79-1,58 мг-эквивалент на 100 грамм почвы) гидролитической кислотности в пахотном горизонте

Метеорологические условия вегетационного периода 2023 и 2024 годов отличались значительными колебаниями температуры воздуха и неравномерными осадками как в течение отдельных месяцев, так и всего периода, ГТК 2023 – 1,27; ГТК 2024 – 1,36. В целом погодные условия были удовлетворительными для возделывания гороха.

Результаты исследований и их обсуждение

Для зернобобовых культур характерен симбиоз с азотфиксирующими бактериями рода Rhisobium. При этом учеными отмечается видовая специфичность, т.е. разная эффективность взаимодействия культур с отдельными видами микроорганизмов. Инокулянты оказывают влияние на полевую всхожесть семян, стимулируя биохимические и физиологические процессы и на фитосанитарную обстановку посевов. В опыте обработка семян гороха разных сортов микробиологическими препаратами показала увеличение энергии прорастания на 2-12 %. Наиболее эффективным оказалось совместное применение препаратов Ризоторфин + Мизорин, энергия прорастания увеличилась на 8-12 % по сравнению с контролем (табл. 1).

При применении Planteco горох RL45, Ризоторфина, Ризоторфина + Мизорин лабораторная всхожесть семян гороха посевного исследуемых сортов выросла на 2-4 %, 5-6 % и 7-11% по сравнению с контролем соответственно. Предпосевная обработка семян увеличила полевую всхожесть семян гороха на 2-12 %.

Таблица 1 – Влияние предпосевной обработки на посевные качества гороха (2023-2024 гг.)

Сорт	Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Полевая всхожесть, %
Астронавт	Контроль	76	87	68
	Planteco горох RL45	80	89	71
	Ризоторфин	82	92	73
	Ризоторфин + Мизорин	85	95	77
Остинато	Контроль	74	83	67
	Planteco горох RL45	77	86	69
	Ризоторфин	81	89	72
	Ризоторфин + Мизорин	86	94	79
Рокет	Контроль	78	89	69
	Planteco горох RL45	82	93	72
	Ризоторфин	85	95	76
	Ризоторфин + Мизорин	88	96	78
Родник	Контроль	75	85	66
	Planteco горох RL45	77	88	70
	Ризоторфин	78	91	73
	Ризоторфин + Мизорин	83	94	74

Продолжение таблицы 1

Спартак	Контроль	77	88	70
	Planteco горох RL45	80	91	74
	Ризоторфин	82	93	77
	Ризоторфин + Мизорин	86	96	80

Следует отметить сортовые различия по вариантам исследований. Наибольшую отзывчивость к обработке проявил сорт гороха Остинато, где на варианте с обработкой семян Ризоторфин + Мизорин лабораторная всхожесть выросла на 11 %, полевая всхожесть повысилась на 12 %.

Анализируя наступление фаз развития гороха, отметили незначительное влияние исследуемых препаратов. Выявлена только тенденция к ускорению вегетации на 1-2 дня. Основное влияние на наступление фенологических фаз развития гороха имели особенности сорта и условия вегетационного периода.

Применение микробиологических препаратов показало увеличение высоты растений (до 80-88 см) относительно контроля по всем вариантам опыта. Развитие растений гороха исследуемых сортов напрямую зависело от обработки микробиологическими препаратами, что повлияло на накопление зеленой массы растениями (рис. 1).

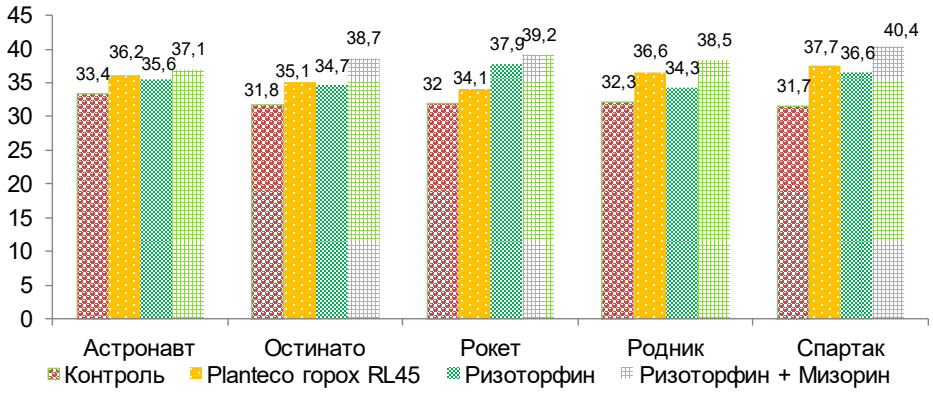


Рис. 1 – Накопление зеленой массы растениями гороха (2023-2024 гг.), г/растение
Fig. 1 – Accumulation of green mass by pea plants (2023-2024), g/plant

Показатель накопления зеленой массы растениями контрольных вариантов – без обработки – выявлен на уровне 31,7-33,4 г/растение. Использование микробиологических препаратов способствовало увеличению накопления зеленой массы в расчете на одно растение на горохе сорта Астронавт на 2,2-3,7 г, Остинато – на 2,9-6,9 г, Рокет – на 2,1-7,2 г, Родник – на 2,0-6,2 г, Спартак – на 4,9-8,7 г.

Наиболее отзывчивым на накопление зеленой массы под воздействием микробиологических препаратов оказался горох сорта Спартак, а наиболее эффективным – совместное применение Ризоторфина и Мизорина, что привело к увеличению зеленой массы на 3,7-8,7 г/растение. В ходе исследований был изучен бобоворизобиальный симбиоз. Клубеньковые бактерии размножаются внутри клеток корня, проникнув через корневые волоски. От растения клубеньковые бактерии получают питательные вещества, необходимые для их роста и размножения бактерий, а также фиксации атмосферного азота. В качестве обязательного условия активной азотфиксации должен выступать эффективный фотосинтез.

Количество и размер клубеньков на корневой системе растений гороха по вариантам опыта определяли на 35 день вегетации (рисунки 2, 3).

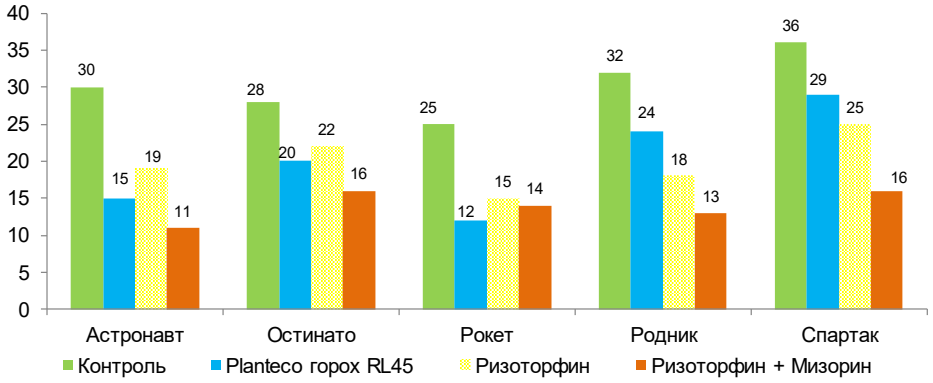


Рис. 2 – Среднее количество клубеньков на растении гороха (2023-2024 гг.), шт.
Fig. 2 – Average number of nodules per pea plant (2023-2024), pcs

Среднее количество клубеньков на одном растении контрольных вариантов составило 25-36 шт. На корневой системе растений гороха опытных образцов количество клубеньков уменьшилось на 6-20 шт. Вместе с тем следует отметить, что клубеньки на корнях опытных растений отличались большими размерами по сравнению с контролем.

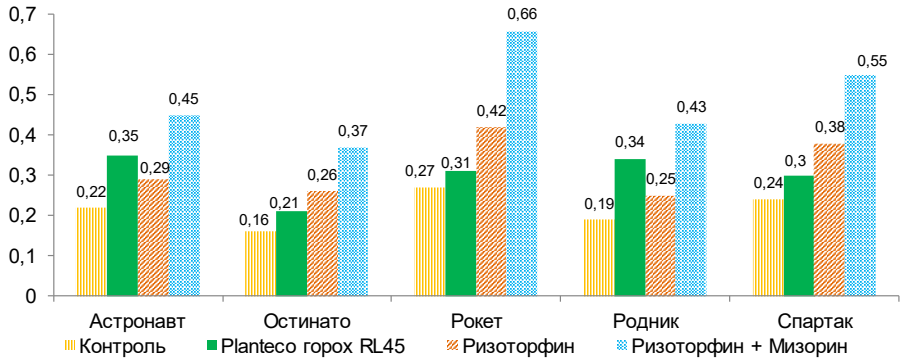


Рис. 3 – Средний диаметр клубеньков на растении гороха (2023-2024 гг.), см
Fig. 3 – Average diameter of nodules on a pea plant (2023-2024), cm

Данные свидетельствуют, что только крупные клубеньки, расположенные ближе к главному корню, являются активными, в то время как мелкие паразитируют на растении. Как правило, крупных клубеньков меньше, что подтверждается полученными в ходе исследований данными. Размер клубеньков увеличился при применении препаратов Ризоторфин + Мизорин на 0,21-0,39 см.

В опыте выражена положительная динамика развития симбиотических отношений азотфиксирующих бактерий с растениями гороха, в то время как контрольные растения приобрели множество неактивных и даже частично паразитирующих клубеньков.

Структура урожая и урожайность гороха посевного представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Структура урожая и урожайность гороха посевного по вариантам опыта (2023-2024 гг.)

Сорт (А)	Вариант обработки (В)	Кол-во бобов на растении, шт.	Количество семян в 1 бобе, шт.		Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га
			всего	выполненных		
Астронавт	Контроль	6,1	7,6	4,9	241,3	25,2
	Plantecогорох RL45	6,6	7,9	5,9	247,5	28,9
	Ризоторфин	6,4	7,9	5,6	244,6	27,1
	Ризоторфин + Мизорин	6,7	8,0	6,0	248,4	29,4
Остинато	Контроль	6,1	7,5	4,8	238,2	25,3
	Plantecогорох RL45	6,6	7,8	5,5	244,3	28,0
	Ризоторфин	6,3	7,6	5,0	240,3	26,1
	Ризоторфин + Мизорин	6,7	8,0	5,7	247,5	29,7
Рокет	Контроль	6,0	7,5	4,7	240,2	23,2
	Plantecогорох RL45	6,2	7,8	5,4	243,5	25,4
	Ризоторфин	6,4	7,8	5,8	246,3	26,1
	Ризоторфин + Мизорин	6,5	7,8	6,0	243,0	26,9
Родник	Контроль	6,4	7,5	5,1	239,5	26,7
	Plantecогорох RL45	6,6	7,7	5,7	241,3	28,1
	Ризоторфин	6,7	7,9	6,0	243,6	28,9
	Ризоторфин + Мизорин	6,7	7,9	6,2	244,9	29,2
Спартак	Контроль	6,0	7,2	5,7	240,5	23,1
	Plantecогорох RL45	6,6	7,6	6,7	246,8	25,9
	Ризоторфин	6,3	7,4	6,4	244,3	25,5
	Контроль	6,7	7,9	6,9	247,2	26,3
$НСР_{05}$	AB	0,40	0,50	0,45	2,81	2,88
	A	0,20	0,25	0,23	1,40	1,44
	B	0,18	0,22	0,20	1,26	1,29

Количество бобов на растении и семян в бобе достаточно стабильные показатели, которые подвержены незначительной вариабельности. Вместе с тем следует отметить, что количество бобов в опытных вариантах, обработанных микробиологическими препаратами, увеличилось на 0,2-0,7 шт. относительно контроля. По показателю количества выполненных семян в бобе у опытных вариантов по всем сортам произошло увеличение от 0,2 до 1,3 штук по сравнению с контролем.

Применение микробиологических препаратов способствовало получению более крупных и выполненных семян посевного гороха всех исследуемых сортов. Как следствие, масса 1000 семян при применении Planteco горох RL45, Ризоторфина и Ризоторфина + Мизорин в среднем по годам исследований увеличилась на 1,8-6,3 г, 2,1-6,1 г и на 2,8-9,3 г по сравнению с контролем соответственно. Использование микробиологических препаратов для обработки семян гороха посевного способствовало повышению урожайности культуры по всем вариантам опыта. При проведении обработки семян наблюдается прибавка урожая гороха сорта Астронавт на 7,5-16,7 %, Остинато – на 3,2-17,4 %, Рокет – на 9,5-15,9 %, Родник – на 5,2-9,4 %, Спартак – на 10,4-13,9 % по сравнению с контролем.

Горох используют для пищевых и кормовых целей. Поэтому требуются зерна с высоким содержанием белка. Обработка семян бактериальными препаратами увеличивает содержание белка в зерне сортов гороха (табл. 3).

Таблица 3 – Массовая доля белка в зерне гороха по вариантам опыта (2023-2024 гг.)

Сорт	Вариант опыта	Среднее содержание по варианту, %	Отклонение от контроля, %
Астронавт	Контроль	21,1	-
	Plantecoгорох RL45	21,5	+0,4
	Ризоторфин	21,2	+0,1
	Ризоторфин + Мизорин	21,7	+0,6
Остинато	Контроль	21,6	-
	Plantecoгорох RL45	22,5	+0,9
	Ризоторфин	22,2	+0,6
	Ризоторфин + Мизорин	22,6	+1,0
Рокет	Контроль	21,1	-
	Plantecoгорох RL45	21,5	+0,4
	Ризоторфин	21,6	+0,5
	Ризоторфин + Мизорин	21,8	+0,7
Родник	Контроль	21,8	-
	Plantecoгорох RL45	22,5	+0,7
	Ризоторфин	22,3	+0,5
	Ризоторфин + Мизорин	22,9	+1,1
Спартак	Контроль	21,1	-
	Plantecoгорох RL45	21,3	+0,2
	Ризоторфин	21,5	+0,4
	Ризоторфин + Мизорин	21,6	+0,5

Предпосевная обработка семян бактериальными препаратами способствовала увеличению содержания белка в зерне сорта Астронавт на 0,1-0,6 %, Остинато – на 0,6-1,0 %, Рокет – на 0,4-0,7 %, Родник – на 0,5-1,1 %, Спартак – на 0,2-0,5 %. Наибольшее влияние на качественные показатели зерна гороха оказало совместное применение препаратов Ризоторфин и Мизорин.

Заключение

При проведении обработки семян наблюдалась прибавка урожайности гороха сорта Астронавт на 7,5-16,7 %, Остинато – на 3,2-17,4 %, Рокет – на 9,5-15,9 %, Родник – на 5,2-9,4 %, Спартак – на 10,4-13,9 % по сравнению с контролем. Предпосевная обработка семян бактериальными препаратами способствовала увеличению содержания белка в зерне сорта Астронавт на 0,1-0,6 %, Остинато – на 0,6-1,0 %, Рокет – на 0,4-0,7 %, Родник – на 0,5-1,1 %, Спартак – на 0,2-0,5 %. По результатам исследований, проведенных в 2023-2024 гг. в условиях Рязанского района Рязанской области, рекомендуется возделывать горох сорта Астронавт, Остинато и Рокет с применением для предпосевной обработки семян микробиологических препаратов Ризоторфин (1,6 кг/т) совместно с Мизорином (1,2 кг/т) с целью повышения урожайности и качества зерна.

Список источников

1. Бегун, С.А. Совместное использование штаммов ризобий и некоторых препаратов для предпосевной обработки семян сои / С.А. Бегун, М.В. Якименко // Сельское хозяйство. - 2016. - № 6. - С. 26-27.

2. Васильчиков, А.Г. Сравнительная оценка

размеров симбиотической азотфиксации зернобобовых культур / А.Г. Васильчиков // Земледелие. - 2014. - № 4. - С. 8-11.

3. Васин, В.Г. Влияние биостимуляторов на показатели фотосинтетической деятель-ности и продуктивности гороха / В.Г.Васин, О.В.Вершинина, О.Н.Лысак // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2015. - №2. - С. 3.

4. Виноградов, Д.В. Использование регуляторов роста в производстве гороха / Д.В. Виноградов, М.В. Евсенина // Серия конференций ИОП: Науки о Земле и окружающей среде: Ставрополь. - 2022. - С. 1-9.

5. Влияние различных доз микробиологического удобрения на продуктивность гороха / М.В. Евсенина, Е.А. Плевко, Д.В. Виноградов, Г.Д. Гогмачадзе, П.Н. Балабко, Е.И. Лупова // АгроЭкоИнфо. - 2022. - № 5(53). DOI 10.51419/202125530.

6. Евсенина, М.В. Эффективность применения регулятора роста в технологии производства гороха и сои / М.В. Евсенина, Д.В. Виноградов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 9-15.

7. Евсенина, М. В. Урожайность сортов гороха при использовании инокулянта в условиях юга Нечерноземья / М. В. Евсенина, Д. В. Виноградов, Е. И. Лупова // Молочнохозяйственный вестник. – 2023. – № 4(52). – С. 54-66.

8. Евсенина, М. В. Эффективность применения микроудобрений на посевах гороха / М.В. Евсенина, Д.В. Виноградов // Известия Дагестанского ГАУ. – 2022. – № 4(16). – С. 55-61.

9. Ерохин, А.И. Предпосевная обработка семян гороха биопрепаратом Рибав-Экстра / А.И. Ерохин, З.Р. Цуканова // Сельское хозяйство. - 2014. - № 3. - С. 47-48.

10. Лебедев, Д.В. Особенности питания растений и жизнедеятельности микроорганизмов в почве / Д.В. Лебедев, М.В. Евсенина // Сб.: Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий. Рязань. - 2021. - С. 189-194.

11. Лупова, Е.И. Научно-практическое обоснование повышения продуктивности масличных капустных культур в комплексе агротехнологических факторов в условиях нечерноземной зоны: специальность 06.01.01 «Общее земледелие, растениеводство»: дис. … д. с.-х. н. / Е.И. Лупова: РГАТУ. – Рязань, 2022. – 392 с.

12. Солодягина, А.В. Урожайность семян сои при широкорядном посеве в зависимости от плотности агрофитоценоза / А.В. Солодягина, Д.В. Виноградов, Е.В. Гуреева // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 78-84.

13. Vinogradov D.V., Evsenina M.V. Using growth regulators in production of peas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Stavropol, 29–30 октября 2021 года. – Stavropol. - 2022. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/996/1/012029.

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

References

1. Begun, S.A. Sovmestnoye ispol'zovaniye shtammov rizobiy i nekotorykh preparatov dlya predposevnoy obrabotki semyan soi / S.A. Begun, M.V. Yakimenko // Sel'skoye khozyaystvo. - 2016. - № 6. - S. 26-27.

2. Vasil'chikov, A.G. Sravnitel'naya otsenka razmerov simbioticheskoy azotfiksatsii zernobobovykh kul'tur / A.G. Vasil'chikov // Zemledeliye. - 2014. - № 4. - S. 8-11.

3. Vasin, V.G. Vliyaniye biostimulyatorov na pokazateli fotosinteticheskoy deyatel'-nosti i produktivnosti gorokha / V.G.Vasin, O.V.Vershinina, O.N.Lysak // Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury. - 2015. - №2. - S. 3.

4. Vinogradov, D.V. Ispol'zovaniye regulyatorov rosta v proizvodstve gorokha / D.V. Vinogradov, M.V. Yevsenina // Seriya konferentsiy IOP: Nauki o Zemle i okruzhayushchey srede: Stavropol'. - 2022. - S. 1-9.

5. Vliyaniye razlichnykh doz mikrobiologicheskogo udobreniya na produktivnost' gorokha / M.V. Yevsenina, Ye.A. Plevko, D.V. Vinogradov, G.D. Gogmachadze, P.N. Balabko, Ye.I. Lupova // AgroEkoInfo. - 2022. - № 5(53). DOI 10.51419/202125530.

6. Yevsenina, M.V. Effektivnost' primeneniya regulyatora rosta v tekhnologii proizvodstva gorokha i soi / M.V. Yevsenina, D.V. Vinogradov // Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. – 2023. – № 1. – S. 9-15.

7. Yevsenina, M. V. Urozhaynost' sortov gorokha pri ispol'zovanii inokulyanta v usloviyakh yuga Nechernozem'ya / M. V. Yevsenina, D. V. Vinogradov, Ye. I. Lupova // Molochnokhozyaystvennyy vestnik. – 2023. – № 4(52). – S. 54-66.

8. Yevsenina, M. V. Effektivnost' primeneniya mikroudobreniy na posevakh gorokha / M.V. Yevsenina, D.V. Vinogradov // Izvestiya Dagestanskogo GAU. – 2022. – № 4(16). – S. 55-61.

9. Yerokhin, A.I. Predposevnaya obrabotka semyan gorokha biopreparatom Ribav-Ekstra / A.I. Yerokhin, Z.R. Tsukanova // Sel'skoye khozyaystvo. - 2014. - № 3. - S. 47-48.

10. Lebedev, D.V. Osobennosti pitaniya rasteniy i zhiznedeyatel'nosti mikroorganizmov v pochve / D.V. Lebedev, M.V. Yevsenina // Sb.: Ekologicheskoye sostoyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty sovremennykh agrotekhnologiy. Ryazan'. - 2021. - S. 189-194.

11. Lupova, Ye.I. Nauchno-prakticheskoye obosnovaniye povysheniya produktivnosti maslichnykh kapustnykh kul'tur v komplekse agrotekhnologicheskikh faktorov v usloviyakh nechernozemnoy zony:

spetsial'nost' 06.01.01 «Obshcheye zemledeliye, rasteniyevodstvo»: dis. … d. s.-kh. n. / Ye.I. Lupova: RGATU. – Ryazan', 2022. – 392 s.

12. Solodyagina, A.V. Urozhaynost' semyan soi pri shirokoryadnom poseve v zavisimosti ot plotnosti agrofitotsenoza / A.V. Solodyagina, D.V. Vinogradov, Ye.V. Gureyeva // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 3. – S. 78-84.

13. Vinogradov D.V., Evsenina M.V. Using growth regulators in production of peas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Stavropol, 29–30 oktyabrya 2021 goda. – Stavropol. - 2022. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/996/1/012029

Информация об авторах

Евсенина Марина Владимировна, *канд. с.-х. наук, доцент кафедры агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, marina.vlady@mail.ru*

Author Information

Evenina Marina V., *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, marina.vlady@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 03.09.2024; одобрена после рецензирования 08.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted to the editorial office 03.09.2024; approved after review 08.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 20-25
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 20-25

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.38
DOI: 10.36508/RSATU.2024.89.84.004

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛАУКОНИТА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ ОТХОДОВ СВИНОКОМПЛЕКСА

Татьяна Андреевна Колесникова[1]✉, Марина Анатольевна Куликова[2]

[1,2] ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г Новочеркасск, Россия

[1] tanechka-ko1986@yandex.ru
[2] my7rysyk@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *В статье рассмотрена возможность применения глауконита для эффективного разделения жидких отходов свинокомплекса. Цель работы – изучение характеристик процессов разделения жидких отходов с использованием кварц-глауконитового песка и динамики содержания биогенных элементов в результате добавления глауконита.*
Методология. *Процесс получения удобрения из жидких отходов свинокомплекса представляет собой выделение осадка, образующегося в результате обработки реагентом, укрупнения хлопьев и дальнейшего отстаивания. Много факторов влияет на эффективное протекание коагуляции в стесненных условиях. К таким факторам относятся: вид и концентрации реагентов и добавок, температура, состав жидких отходов и др. Внесение глауконита способствует увеличению скорости быстрой коагуляции и уменьшению времени отстаивания, при этом обогащая жидкие отходы свинокомплекса ценными биогенными элементами.*
Результаты. *Определена доза кварц-глауконитового песка в зависимости от содержания сухого вещества в жидких отходах свинокомплекса. Эффективная доза кварц-глуаконитового песка составила 15-30 % от объема обрабатываемых жидких отходов свинокомплекса. Установлено увеличение содержания общего азота с 3,0 до 6,5 %, калия с 2,0 до 3,0 %, фосфора с 4,0 до 6,5 %, натрия с 0,8 до 1,8 % при добавлении глауконита в жидкие отходы свинокомплекса. Время отстаивания при добавлении глауконита снизится с 60 мин до 40.*
Заключение. *Внесение глауконита позволяет получить высокую степень фракционирования жидких отходов свинокомплекса с выделением осадка, который возможно использовать в качестве органоминерального удобрения. Кроме того, образуется надосадочная жидкость, которую после исследований на экологическую безопасность предполагается применять для удобрительного орошения сельхозугодий. Период отстаивания сокращается в 1,5 раза.*

Ключевые слова: *глауконит, жидкие отходы, свинокомплекс, реагентная обработка, эффективность, удобрение, биогенные элементы*

Для цитирования: *Колесникова Т.А., Куликова М.А. Применение глауконита для эффективного разделения жидких отходов свинокомплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4. С.20-25 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.89.84.004*

Original article

THE USE OF GLAUCONITE FOR THE EFFECTIVE SEPARATION OF LIQUID PIG WASTE IS SHOWN

Tatyana A. Kolesnikova [1]✉, Marina A. Kulikova [2]

[1,2] South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia

[1] tanechka-ko1986@yandex.ru
[2] my7rysyk@mail.ru

Abstract.
Problem and purpose. *The article considers the possibility of using glauconite for the effective separation of*

© Колесникова Т.А., Куликова М.А., 2024 г.

liquid waste from a pig farm. To study the characteristics of liquid waste separation processes using quartz-glauconite sand and the dynamics of the content of biogenic elements as a result of the addition of glauconite.
Methodology. *In the production of fertilizers from liquid waste from pig farms, reagent separation processes are carried out, in which particles are enlarged and precipitated as a result of settling. Effective coagulation varies depending on environmental conditions, reagent concentrations, and other factors. The introduction of glauconite helps to increase the rate of rapid coagulation and reduce the settling time, while enriching the liquid waste of the pig complex with valuable biogenic elements.*
Results. *The dose of quartz-glauconite sand was determined depending on the dry matter content in the liquid waste of the pig complex. The effective dose of quartz-gluaconite sand was 15-30 % of the volume of processed liquid waste from the pig complex. An increase in the content of total nitrogen from 3.0 to 6.5 %, potassium from 2.0 to 3.0 %, phosphorus from 4.0 to 6.5 %, sodium 0.8 to 1.8 % was found when glauconite was added to the liquid waste of the pig complex. The settling time with the addition of glauconite will decrease from 60 minutes to 40.*
Conclusion. *The conducted studies have shown that the use of quartz-glauconite sand in the reagent fractionation of liquid pig waste allows to increase the efficiency of separation into liquid and solid fractions and their agro-reclamation value while reducing the settling time, improve the physical properties of the resulting solid fraction*

Key words: *liquid waste, pig farms, reagent treatment, nutrients, research, dynamics.*
For citation: *Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. The use of glauconite for the effective separation of liquid pig waste is shown // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 20-25 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.89.84.004*

Введение

Современное развитие общества предъявляет высокие требования к эффективности ведения сельского хозяйства с одновременным повышением урожайности и сохранения плодородия почв, недопустимости деградации природных и агроэкосистем. Качество почв напрямую обусловлено балансом в них таких элементов, как фосфор, калий, азот, микроэлементы и др. Кроме отсутствия дефицитов основных химических элементов, важным вопросом при внесении N, P, K остается обеспечение одинаково высокой доступности извлечения растениями всех минеральных макро- и микрокомпонентов [1,2].

На различных типах почвы при недостаточном содержании этих элементов или неполном их усваивании начинает проявлять себя в действии закон лимитирующих факторов, когда даже внесение по самым эффективным схемам таких мощных биогенных элементов, как азот, фосфор и калий, может практически не оказывать влияния на урожайность сельскохозяйственных культур или иметь незначительный эффект по сравнению с возделыванием почвы без удобрений [3].

Большая часть агроэкосистем России работает с применением схем внесения только азотных и фосфорных удобрений. Практически повсеместно в почвах отмечается дефицит калия, обусловленный высокой стоимостью калийных удобрений, а также низкой их сырьевой доступностью. Такой дефицит калия в значительной степени сдерживает повышение урожайности сельскохозяйственных культур, несмотря на достаточное количество иных элементов в почве [4].

Эффективным решением указанной проблемы может стать переход к использованию органоминеральных удобрений на базе доступных природных материалов в совокупности с отходами, содержащими ценные биогенные компоненты. Одним из привлекательных по своей доступности вариантов может быть совместная переработка имеющего высокую сырьевую доступность природного сорбента – глауконита и жидких отходов свинокомплексов, обладающих потенциалом повышения ценности почв агроценозов. Однако следует отметить, что новые устойчивые способы использования жидких отходов животноводства требуют разработки приемлемых технологий превращения отходов и природного сырья в эффективное органоминеральное удобрение.

В последние десятилетия возрос спрос на биосферосовместимые способы ведения животноводства, по возможности, с цикличным использованием жидких отходов, представляющих собой продукты высокой питательной ценности. В научной литературе [5,6] представлено большое количество публикаций, в которых исследованы параметры, свойства и методы переработки жидких отходов свинокомплексов в удобрительные комплексы, применение которых дает возможность значительно повысить качество почвы как сельскохозяйственного ресурса.

Глауконитовые пески, как источник значительного количества калия и важных для плодородия почвы элементов и микроэлементов, могут рассматриваться в виде потенциального минерального вещества, способного значительного улучшить состав почвы и повысить ее урожайность. В природе филлосиликат Fe-K(K), чем и является глауконит, чаще всего находится в виде крупных гранул, пылевая или песчаная фракция имеет размер (0,002-2мм). Возможность применения глауконита в качестве сырья для органоминерального удобрения обусловлена его высокой физико-химической активностью, связанной с входящим в его структуру сложным поглощающим комплексом, содержащим легко- и труднорастворимые соли, гуминовые кислоты и различные органические соединения, дающие характерный уровень pH среды. Кроме того, глауконит способен при неизменной влажности среды к самопроизвольному восстановлению структуры. Это свойство проявлять процессы самоорганизации характерно для алюмосиликатов. В работах значительного числа

исследователей [7-9] отмечалась роль глауконита как структурного мелиоранта и высокоэффективного средства очистки почв от пестицидов и других опасных загрязнителей.

Сырьевая доступность глауконита обусловлена высоким его содержанием в глауконитовых песках (до 50-60 %), которые являются широко распространённым природным сырьем на территории РФ. Главным преимуществом глауконита для использования в качестве удобрения является высокое содержание (5-9,5 %) в нем калия в форме, легкодоступной для растений при быстром разрушении в почве. Кроме того, в глауконите присутствует высокий процент P_2O_5 (до 3 %), являющегося биогенным элементом. Высокое содержание в природном материале таких микроэлементов как Mn, Cu, Co, Ni, B делает глауконит привлекательным в качестве минерального компонента удобрений.

Целью работы являются определение эффективности применения глауконита в качестве добавки в жидкие отходы свинокомплекса при переработке в органоминеральное удобрение. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определение зависимости эффективности разделения жидких отходов свинокомплекса с разным содержанием сухого вещества от дозы кварц-глауконитового песка; определение зависимости времени отстаивания от дозы глауконита.

Материалы и методы исследования

Глауконит широко используется в сельском хозяйстве как мелиорант благодаря высокому содержанию калия [10]. Эффективность применения глауконита при реагентной обработке жидких отходов свинокомплекса определяли в ФГБО ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И.Платова». Для исследования использовали жидкий отход свинокомплекса ЗАО «Респект» Ростовской области, с расходом 100 м³/сут. Обработку реагентами проводили в стандартных цилиндрах объемом 1 дм³. Жидкие отходы свинокомплекса обрабатывали щелочным коагулянтом до pH 10,5-12, известковым молоком –1,6-2,6 г/дм³, при перемешивании в течение 3-5 мин. Для ускорения процессов разделения и сокращения времени получения органоминерального удобрения затем вводили суспензию аммофоса дозой 1,5-2,0 г/дм³ при перемешивая в течение 2-3 минут, тем самым снижая pH до 6,5-8,5 в зависимости от требуемого значения. Далее вносили кварц-глауконитовый песок 10-35 % в получаемую смесь для более быстрого осаждения, уплотнения и для обогащения минеральными компонентами. После 40- минутного отстаивания уплотненный осадок с влажностью 90 % отправлялся на обезвоживание и обеззараживание в вакуум-сушилку с температурой 60º С. При необходимости возможно использование полученного удобрения как в жидком, так и высушенном виде.

Присутствие в реагентной обработке кальцийсодержащего реагента, такого как суспензия известкового молока дозой 1,6-2,6 г/дм³, необходимо для дестабилизации коллоидной системы жидких отходов [6]. Основное достоинство данных щелочных реагентов заключается в их биосферосовместимости и минимальном воздействии на окружающую среду. Введение подкисляющего реагента – суспензии аммофоса дозой 1,5-2,0 г/дм³ необходимо для регулирования pH в заданном диапазоне, оптимальном для внесения в почву, а также для насыщения получаемого удобрения минеральными компонентами. Внесение кварц-глауконитового песка в количестве 10-30 % от общего объема смеси способствует обогащению смеси такими компонентами как K и P, при этом улучшает технологические параметры процесса получения удобрения – сокращается время отстаивания, уменьшается влажность осадка. Концентрацию ионов кальция определяли по активности соответствующего иона потенциометрически на иономере «Экотест». Концентрацию общего калия в осадке после фракционного разделения определяли методом пламенной фотометрии. Концентрацию общего азота определяли методом Кьельдаля.

Результаты исследований и их обсуждение

В лабораторных условиях провели испытания на применимость глауконита в качестве добавки для разделения и обогащения микроэлементами жидких отходов свинокомплекса. В результате установили, что при добавлении кварц-глауконитового песка в образцы время разделения отходов составило 40 мин. При этом вносимая доза глауконита составила 20 % от объема обрабатываемых отходов (рис.1). Время отстаивания без кварц-глауконитового песка в результате реагентной коагуляции составляет 1ч 20 мин.

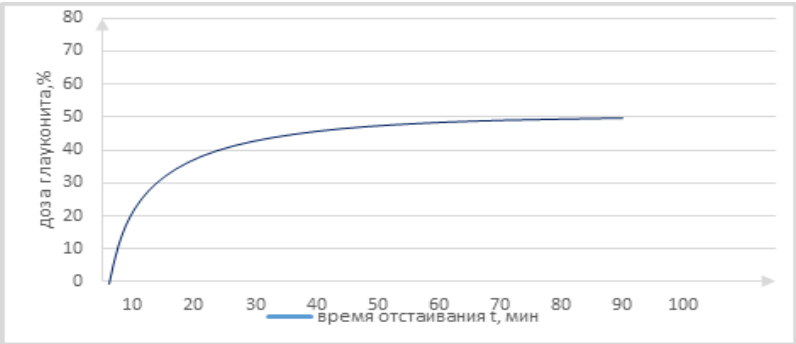


Рис. 1 – Зависимость времени отстаивания жидких отходов свинокомплеса от дозы вносимого кварц-глауконитового песка
Fig. 1 – The dependence of the settling time of the liquid waste of the pig compound on the dose of the introduced quartz-glauconite sand

Также установлена оптимальная доза кварц-глауконитового песка для эффективного разделения жидких отходов. Эффективность осаждения в 90 % достигается при внесении 30 % глауконита в образцы (рис.2).

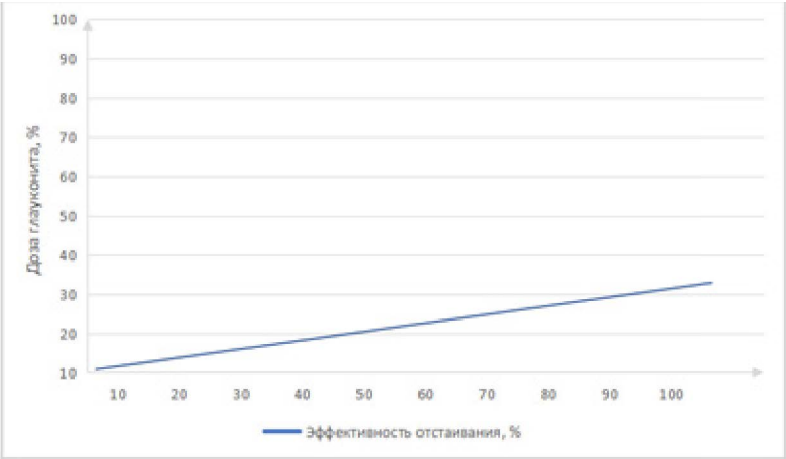


Рис. 2 – Зависимость эффективности отстаивания жидких отходов свинокомплекса от дозы внесенного глауконитового песка
Fig. 2 – Dependence of the efficiency of settling liquid waste of the pig complex on the dose of introduced glauconite sand

Жидкие отходы свинокомплекса могут содержать различное содержание сухого вещества в зависимости от типа питания и условий выращивания животных. Поэтому авторами проводилось исследование по установлению необходимых доз глауконита, вносимых при обработке. Результаты исследования выявили прямопропорциональную зависимость дозы кварц-глауконита от процента сухого вещества, содержащегося в обрабатываемых отходах. Изучали влияние различных доз глауконита на дестабилизацию коллоидной системы жидких отходов. Оптимальное количество добавки определяли отдельно для образцов с разным содержанием сухого вещества. На рисунках 3 (а,б,в) показано, что имеется прямая зависимость между количеством сухого вещества в отходе, требуемой для повышения разделения дозы глауконита и содержанием питательных элементов в осадке.

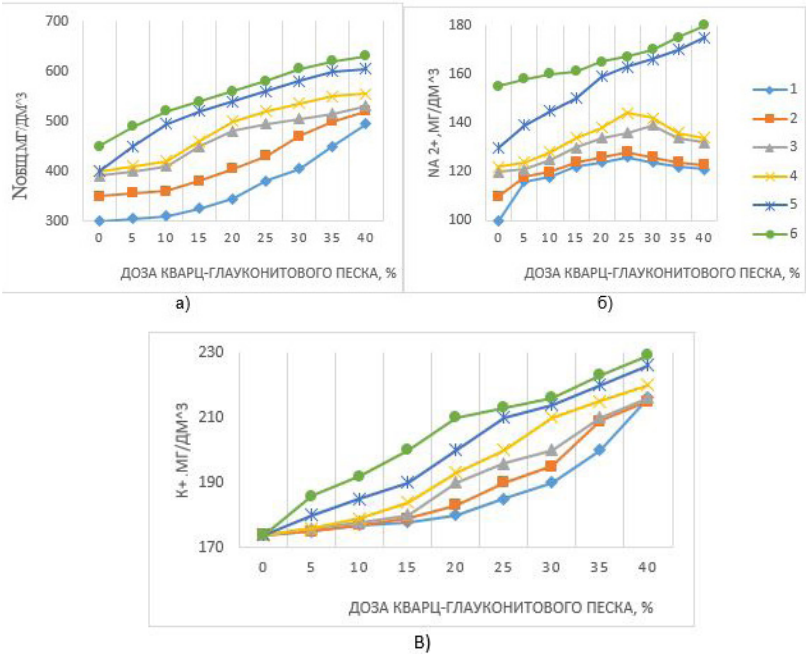


Рис.3 – Зависимости содержания ионов: а) Nобщ, мг/дм³; б) Na+, мг/дм³; в) K^+, мг/дм³ от дозы в % кварц-глауконитового песка и жидких отходов при реагенткном фракционировании. Содержание сухого вещества в жидких отходах: – 0,85 %, 2 – 1,0 %, 3 – 2,0 %, 4 – 3,0 %, 5 – 4,0 %, 6 – 4,5 %
Fig. 3 – The dependence of the ion content: a)- N+, mg /dm³; b)- Na+, mg/dm³; c)- K^+ mg/dm³ on the dose in % of quartz-glauconite sand and liquid waste during reagent fractionation. Dry matter content in liquid waste
1– 0,85 %, 2 – 1,0 %, 3 – 2,0 %, 4 – 3,0 %, 5 – 4,0 %, 6 – 4,5 %

Для увеличения эффективности отстаивания при содержании сухого вещества в жидких отходах в количестве 1 % требовалось внесение глауконитовой добавки в количестве 10 % от общего объема, а при содержании сухого вещества 4 % доза составляла уже 30 % , при этом увеличивалось обогащение осадка жидких отходов такими элементами как азот общий, натрий и калий. В результате реагентной коагуляции с добавлением кварц-глауконитового песка в отстоявшейся твердой фазе жидких отходов свинокомплекса отмечается повышение содержания питательных элементов ($N^{общ}$, Na^{2+}, K^+) на 5-25 % по сравнению с осадком, обработанным без глауконита. Таким об-

разом, проведенные исследования показали, что использование кварц-глауконитового песка при реагентном фракционировании жидких отходов свинокомплекса позволяет повысить эффективность разделения на жидкую и твердую фракции и их агромелиоративную ценность при сокращении времени отстаивания, улучшить физические свойства получаемой твердой фракции. Сравнительная характеристика способов реагентного разделения жидких отходов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение показателей способов фракционирования исследуемых отходов

Показатели	Суспензия известкового молока+аммофос	Суспензия известкового молока+аммфофос+глауконит
Эффективность отстаивания, %	75-85	90-92
Время отстаивания, мин	60-120	40
Содержание питательных компонентов в осадке, %		
N	2,5-3,0	4,5-6,5
K	1,2-2,5	2,0-3,0
P	3,0-4,5	5,0-7,0
Na	0,39-1,0	1,2-1,8

Заключение

Анализ результатов выполненного авторами исследования показал, что установлена эффективная доза кварц-глуаконитового песка, равная 15-30 % от объема обрабатываемых жидких отходов свинокомплекса.

Внесение глауконита позволяет получить высокую степень фракционирования жидких отходов свинокомплекса с выделением осадка, который возможно использовать в качестве органоминерального удобрения. Кроме того, образуется надосадочная жидкость, которую после исследований на экологическую безопасность предполагается применять для удобрительного орошения сельхозугодий. Под действием реагентов и глауконита происходит быстрая коагуляция частиц, что способствует увеличению скорости осаждения, время отстаивания сократится с 60 мин до 40 мин.

Отмечена динамика увеличения содержания основных биогенных элементов в результате внесения глауконита в жидкие отходы свинокомплексов. Внесение кварц-глауконитового песка в количестве 15-30 % от общего объема смеси способствует обогащению смеси такими компонентами как К , Р и Na.

Список источников

1. Swoboda,P., Döring,T., Hamer,M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review// Science of The Total Environment.-2022.-№807.- DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150976

2. Manning,D., Theodoro,S., Enabling food security through use of local rocks and minerals// The Extractive Industries and Society.-2020.-Vol.7,№2, P.480-487. DOI: 10.1016/j.exis.2018.11.002

3. Алланиязов,Д.,Эркаев,А.,Алламбергенова,Р. И др. Исследование процесса получения сложных удобрений на основе глауконитов, (Крантауского месторождения) Каракалпакстана// Universum: технические науки : электрон. научн. журн.-2021.-№8.- DOI: 10.32743/UniTech.2021.89.8.12173

4. Макаров,Б., Терещенко, Н., Рудмин, М. Оценка эффективности применения глауконита в качестве удобрения для яровых зерновых// Научный журнал «Известия КГТУ», № 56, 2020.-с143-156.

5. Kolesnikova,T., Kulikova,M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // EurAsian Journal of BioSciences. – 2020. - №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108

6. Колесникова,Т., Куликова,М. Анализ процесса коагуляции при реагентном фракционировании жидких отходов свинокомплексов// Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023, Т.15, №4, С.55-59, DOI:10.36508/RSATU/2023/71/29/008

7. Биккинина, Л., Яппаров, И. Оценка влияния глауконитов в последействии при возделывании сахарной свеклы.// Агрохимический вестник.-2018.-№6.- DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10060

8. Ярошенко, Т., Журавлев, Д., Климова, Н. Влияние удобрений на урожайность подсолнечника в нижнем Поволжье// Известия Самарского научного центра Российской академии наук.- т. 21, No 6, 2019-с.137-142.

9. Xia, L., David,T., et al. Iron rich glauconite sand as an efficient phosphate immobilising agent in river sediments// Science of The Total Environment.- Vol. 811.-2022.- DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152483

10. Chelme-Ayala,P., El-Din,M. Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment// J Hazard Mater.-2011 Feb №186(2-3) DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.12.047.

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

References

1. Swoboda,P., Döring,T., Hamer,M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review// Science of The Total Environment.-2022.-№807.- DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150976
2. Manning,D., Theodoro,S., Enabling food security through use of local rocks and minerals// The Extractive Industries and Society.-2020.-Vol.7,№2, P.480-487. DOI: 10.1016/j.exis.2018.11.002
3. Allaniyazov, D., Erkaev ,A., Allambergenova,R. I dr. Issledovanie processa polucheniya slozhnyh udobrenij na osnove glaukonitov, (Krantauskogo mestorozhdeniya) Karakalpakstana// Universum: tekhnicheskie nauki : elektron. nauchn. zhurn.-2021.-№8.- DOI: 10.32743/UniTech.2021.89.8.12173
4. Makarov,B., Tereshchenko, N., Rudmin, M. Ocenka effektivnosti primeneniya glaukonita v kachestve udobreniya dlya yarovyh zernovyh// Nauchnyj zhurnal «Izvestiya KGTU», № 56, 2020.-s143-156.
5. Kolesnikova,T., Kulikova,M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // EurAsian Journal of BioSciences. – 2020. - №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108
6. Kolesnikova,T., Kulikova,M. Analiz processa koagulyacii pri reagentnom frakcionirovanii zhidkih othodov svinokompleksov// Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2023, T.15, №4, S.55-59, DOI:10.36508/RSATU/2023/71/29/008
7. Bikkinina, L., Yapparov, I. Ocenka vliyaniya glaukonitov v posledeĭstvii pri vozdelyvanii saharnoĭ svekly.// Agrohimicheskij vestnik.-2018.-№6.- DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10060
8. Yaroshenko, T., Zhuravlev, D., Klimova, N. Vliyanie udobrenij na urozhajnost' podsolnechnika v nizhnem Povolzh'e// Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk.- t. 21, No 6, 2019-s.137-142.
9. Xia, L., David,T., et al. Iron rich glauconite sand as an efficient phosphate immobilising agent in river sediments// Science of The Total Environment.- Vol. 811.-2022.- DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152483
10. Chelme-Ayala,P., El-Din,M. Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment// J Hazard Mater.-2011 Feb №186(2-3) DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.12.047.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Колесникова Татьяна Андреевна, *ст. препод. кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университета (НПИ) имени М.И. Платова, tanechka-ko1986@yandex.ru*

Куликова Марина Анатольевна, *канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, my7rysyk@mail.ru*

Author Information

Kolesnikova Tatyana A., *Senior Lecturer of the Department of Ecology and Industrial Safety, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), tanechka-ko1986@yandex.ru*

Kulikova Marina A., *Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), my7rysyk@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 02.10.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 02.10.2024; approved after reviewing 06.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 26-35
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 26-35

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 581.17. 631.53.01
DOI: 10.36508/RSATU.2024.14.95.005

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ РАЗНОКАЧЕСТВЕННЫХ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОБРАБОТКУ ЭМИСТИМОМ, Р.

Виктор Иванович Левин[1]✉, Ирина Александровна Акулина[2], Людмила Анатольевна Антипкина[3]

[1,2,3] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] levin-49@bk.ru
[2] rinnays7@gmail.com
[3] latalanova@ya.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Систематическое применение пестицидов в интенсивных технологиях выращивания сельскохозяйственных культур неизбежно сопровождается развитием резистентности и токсинообразующей способности у вредоносных организмов. Тогда как культурные растения на воздействие пестицидов отвечают стрессовыми реакциями, которые сопровождаются угнетением физиологических процессов, нарушением гормонального баланса и адаптационных систем. В таком состоянии растения иммунодефицитны. Современная аграрная наука альтернативу небезопасным химическим пестицидам при защите растений видит в применении препаратов, обладающих элиситорной способностью. К их числу относятся экологически безопасные средства различных химических групп со свойствами аналогов гормонов, обеспечивающие растениям максимально полную реализацию генетического потенциала устойчивости к стресс-факторам биотической и абиотической природы. Целью исследования было изучение в лабораторных условиях биорегуляторной активности обработки стрессированных и интактных семян яровой пшеницы различными дозами регулятора роста Эмистим со свойствами элиситора.*
Методология. *Лабораторные опыты выполняли на двух партиях семян яровой пшеницы (Triticum aestivum L.) сорта Дарья, отвечающих требованиям ГОСТ Р 52325-2005. Посевные качества семян определяли по ГОСТ-12038-84. Оценку морфологических показателей проростков проводили методом проращивания семян в рулонах фильтровальной бумаги. Состояние стресса у семян достигалось сочетанием ударных механических и кратковременных чередующихся воздействий положительной температуры в диапазоне 25-30° С и 55-60° С. Количество зерновок с микротравмами составляло 45-57 % от всей совокупности опытного образца. Повреждение у зерновок определяли по окрашиванию в 0,5 %-м растворе индигокармина. Семена обрабатывали Эмистимом в диапазоне доз 15-35 мл/т. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с использованием критерия Стьюдента. Дополнительно достоверность различий между вариантами опыта подтверждали фотовизуализацией.*
Результаты. *Лабораторными исследованиями выявлена высокая стимулирующая активность действия регулятора роста Эмистим с элиситорными свойствами на начальных этапах прорастания и роста проростков семян яровой пшеницы сорта Дарья. Обработка разнокачественных семян (стрессированных и интактных) в диапазоне доз 15-35 мл/т способствовала ускорению прорастания семян в течение первых 2-3-х суток по отношению к контролю соответственно на 51,3-12,8 % и 34,2-8,3 %. Значимые различия в опережающем прорастании стрессированных и интактных семян под влиянием регулятора роста сохранялись соответственно до трех и двух суток. Препарат Эмистим оказал существенное стимулирующее влияние на линейные параметры ростка и первичных корешков трехсуточных проростков стрессированных и интактных семян, которые превышали проростки контроля соответственно на 49,3-56,5 % и 26,9-35,3 % в зависимости от дозы обработки. Стимулирующий эффект сохранялся и на 7-е сутки проращивания, но при этом превышение к контролю было только на уровне 20,7-22,1 % и 12,3-13,9 %. Под влиянием регулятора роста энергия прорастания повышалась в зависимости от партии семян и доз обработки на 5,4-6,1 % и 10,1-12,3 %. Воздушно-сухая масса трехсуточных проростков (ростка и корешка) стрессированных и интактных семян превышали контроль в зависимости от доз препарата соответственно на 28,6-39,6 % и 35,7-50,1 %, у семисуточных проростков эти различия нивелировались. Эмистим не*

© Левин В.И., Акулина И.А., Антипкина Л.А., 2024 г.

оказал существенного влияния на изменение величины лабораторной всхожести стрессированных и интактных семян.
Заключение. *Регулятор роста Эмистим с элиситорными свойствами индуцирует не только иммуномодулирующие и защитные свойства у растений к вредным организмам, но обеспечивал эффект стимуляции прорастания, роста проростков у стрессированных семян яровой пшеницы, что открывает широкие перспективы применения данного препарата в антистрессовых агротехнологиях выращивания зерновых культур.*

Ключевые слова: *семена, проростки семян, прорастание, дозы препарата, энергия прорастания, регулятор роста Эмистим*

Для цитирования: *Левин В.И., Акулина И.А., Антипкина Л.А. Ответная реакция физиологически разнокачественных семян яровой пшеницы на обработку Эмистимом, Р // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.26-35 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.14.95.005*

Original article

RESPONSE OF PHYSIOLOGICALLY DIFFERENT QUALITY SPRING WHEAT SEEDS TO TREATMENT WITH EMISTIM, R.

Viktor I. Levin[1]✉, Irina A. Akulina[2], Lyudmila A. Antipkina[3]

[1,2,3] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

[1] levin-49@bk.ru
[2] rinnays7@gmail.com
[3] latalanova@ya.ru

Abstract.
Problem and purpose. *Systematic use of pesticides in intensive crop cultivation technologies is inevitably accompanied by the development of resistance and toxin-forming ability in harmful organisms. While cultivated plants respond to the effects of pesticides with stress reactions, which are accompanied by inhibition of physiological processes, disruption of hormonal balance and adaptation systems. In this state, plants are immunodeficient. Modern agricultural science sees an alternative to unsafe chemical pesticides in plant protection in the use of preparations with elicitor ability. These include environmentally friendly agents of various chemical groups with the properties of hormone analogues, ensuring the most complete implementation of the genetic potential of plant resistance to stress factors of biotic and abiotic nature.The aim of the study was to study in laboratory conditions the bioregulatory activity of treating stressed and intact seeds of spring wheat with various doses of the growth regulator Emistim with elicitor properties.*
Methodology. *Laboratory experiments were carried out on 2 lots of spring wheat (Triticum aestivum L.) seeds of the Darya variety that meet the requirements of GOST R 52325-2005. Sowing qualities of seeds were determined according to GOST 12038-84. Morphological parameters of seedlings were assessed by germinating seeds in filter paper rolls. The state of seed stress was achieved by a combination of mechanical shock and short-term alternating effects of positive temperature in the range of 25-30° C and 55-60° C. The number of grains with microtraumas was 45-57 % of the entire experimental sample. Grain damage was determined by staining in 0.5 % indigo carmine solution. The seeds were treated with Emistim in the dose range of 15-35 ml/t. Statistical processing of the experimental data was performed using the Student's t-test. Additionally, the reliability of the differences between the experimental variants was confirmed by photo visualization.*
Results. *Laboratory studies revealed high stimulating activity of the growth regulator Emistim with elicitor properties on the initial stages of germination and growth of seedlings of spring wheat seeds of the Dar'ya variety. Treatment of seeds of different quality (stressed and intact) in the dose range of 15...35 ml/t contributed to the acceleration of seed germination during the first 2-3 days in relation to the control by 51.3-12.8 % and 34.2-8.3%, respectively. Significant differences in the advanced germination of stressed and intact seeds under the influence of the growth regulator persisted for up to 3 and 2 days, respectively. The Emistim preparation exerted a significant stimulating effect on the linear parameters of the sprout and primary roots of 3-day-old sprouts of stressed and intact seeds, which exceeded the control sprouts by 49.3-56.5 % and 26.9-35.3 %, respectively, depending on the treatment dose. The stimulating effect persisted on the 7th day of germination, but the excess over the control was only at the level of 20.7-22.1 % and 12.3-13.9 %. Under the influence of the growth regulator, the germination energy increased depending on the seed batch and treatment doses by 5.4-6.1 % and 10.1-12.3 %. The air-dry weight of 3-day sprouts (sprout and root) of stressed and intact seeds exceeded the control, depending on the doses of the preparation, by 28.6-39.6 % and 35.7-50.1 %, respectively; in 7-day sprouts, these differences were leveled out. Emistim did not have a significant effect on changes in the value of laboratory germination of stressed and intact seeds.*

Conclusion. *The growth regulator Emistim with elicitor properties induces not only immunomodulatory and protective properties in plants to harmful organisms, but also provided the effect of stimulating germination, growth of seedlings in stressed seeds of spring wheat, which opens up broad prospects for the use of this drug in anti-stress agrotechnologies for growing grain crops.*

Key words: *seeds, seed sprouts, germination, preparation doses, germination energy, growth regulator Emistim*

For citation: *Levin V.I., Akulina I.A., Antipkina L.A. Response of physiologically different quality spring wheat seeds to treatment with emistim, r. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 26-35 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.14.95.005*

Введение

Приоритетным направлением, обеспечивающим формирование высокопродуктивных агрофитоценозов, является использование семян, отличающихся высокими посевными качествами, дружным прорастанием, а также устойчивых к повреждающим воздействиям биотических стресс-факторов на ранних этапах онтогенеза, когда молодые растения наиболее уязвимы вредными организмами [3,10,13]. С целью защиты растений от инфицирования болезнетворными организмами в практике сельскохозяйственного производства применяется широкий ассортимент пестицидов [6,17].

Однако в подавляющем большинстве они имеют целый ряд недостатков – растения на воздействие пестицидов и другие повреждающие факторы отвечают стрессовыми реакциями, подавляется их функциональная и гормональная активность, угнетается рост, снижается устойчивость к экологическим факторам, у растений развивается иммунодефицит [8,15,18]. Тогда как при систематическом применении пестицидов вредные организмы, напротив, приобретают устойчивость и становятся еще более резистентными [6,7]. Это ведет к нарушению в агрофитоценозах естественного сложившегося экологического баланса между хозяйственно полезными и вредоносными организмами, в результате резко снижается биологическая эффективность средств защиты, создаются предпосылки нарастания и развития фитосанитарных рисков [2,4, 12, 14].

В современных интенсивных агротехнологиях расширяется использование биопрепаратов и физиологически активных веществ [1, 11], а в качестве альтернативы небезопасным пестицидам находит применение широкая палитра полифункциональных регуляторов роста с антистрессовыми и иммуномодулирующими свойствами [2,12, 14].

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства ведущую роль в защите растений должны занять экологически безопасные методы, позволяющие подавлять развитие болезнетворных организмов, снижать уровень применения пестицидов, а также одновременно обеспечивать повышение адаптивного потенциала и иммунизации растений.

Данным условиям в полной мере отвечает применение полифункциональных препаратов с элиситорной и рострегулирующей способностью [9,16,19]. Они не обладают биоцидным действием, а выполняют роль индуктора болезнеустойчивости, индуцируют синтез растениями сигнальных молекул, запускающих на генном уровне механизм защитных реакций на биотический стресс [5].

Целью исследований было изучение в лабораторных условиях биорегуляторной активности обработок семян яровой пшеницы препаратом Эмистимом со свойствами элиситора; в задачу входила экспериментальная оценка эффективности влияния различных доз регулятора роста на начальные процессы роста и посевные качества стрессированных и интактных семян.

Объекты и методы исследований

Исследования выполнены на двух партиях семян яровой пшеницы (Triticum aestivum L.) сорта Дарья, отвечающих требованиям ГОСТ Р 52325-2005 на сортовые и посевные качества семян сельскохозяйственных растений.

Учитывая сортоспецифические и внутрисортовые различия реакции растительных организмов (семян) на воздействие регуляторов роста, в опыте был использован более широкий диапазон доз исследуемого препарата по отношению к рекомендуемой дозе. Обработку семян Эмистимом выполняли непосредственно перед проращиванием из расчета расхода препарата в дозах: 15 мл/т – пониженная доза; 25 мл/т – средняя доза, 35 мл/т – повышенная доза с расходом рабочего раствора 10 л/т семян. Схема лабораторного опыта включала следующие варианты:

1. Контроль – интактные семена,
2. Интактные семена + Эмистим, Р (15 мл/т),
3. Интактные семена + Эмистим, Р (25 мл/т),
4. Интактные семена + Эмистим, Р (35 мл/т),
5. Контроль – стрессированные семена,
6. Стрессированные семена + Эмистим, Р (15 мл/т),
7. Стрессированные семена + Эмистим, Р (25 мл/т),
8. Стрессированные семена + Эмистим, Р (35 мл/т).

В опыте семена каждой партии делили на 2 группы. Первая группа – интактные (неповрежденные, целостные) семена, которые были получены в результате ручного обмолота растений яровой пшеницы в фазу полной спелости, накануне комбайновой уборки урожая зерна.

Вторая группа – стрессированные семена, убранные прямым комбайнированием растений в фазу полной спелости, с того же участка, где накануне были убраны растения ручным обмолотом. В последующем с зерновой массой выполняли весь цикл технологических операций по очистке, сортировке, погрузке и доведения до кондиционной влажности. На всех этапах послеуборочной

доработки зерновая масса дополнительно подвергалась механическим и термическим (55-60° С) воздействиям, индуцирующим состояния стресса у семян. Долевое содержание зерновок с микротравмами в образце доводили до 45-57 %, то есть моделировали ситуацию, близкую к практическим условиям уборки урожая при экстремальных погодных условиях. В подобных случаях уборка урожая протекает при повышенной влажности воздуха и зерновой массы, жестком режиме обмолота зерна и последующей сушки с отклонением от технологического регламента. Наличие микроповреждений у семян определяли методом окрашивания зерновок в 0,5 %-м растворе индигокармина в течение 5 минут, с последующим использованием лупы с 10-кратным увеличением для выявления повреждений.

Обе группы семян в течение всего периода проведения опытов хранили в лабораторных условиях при температуре 18-21° С и относительной влажности воздуха 55-65 % в пакетах хлопчатобумажной ткани, семена были защищены от прямого освещения. Масса образцов семян каждой группы составляла 1,0-1,5кг. Ответную реакцию интактных и стрессированных семян на обработку Эмистимом оценивали по динамике прорастания семян – образованию «наклева», т.е. прободению первичным корешком плодовой оболочки; морфофизиологическим показателям трех- и семи- суточных проростков методом проращивания семян в рулонах из фильтровальной бумаги по 25 штук проростков в четырехкратной повторности; энергию прорастания и лабораторную всхожесть по ГОСТ 12038-84. Значимость различий по морфофизиологическим и другим исследуемым показателям определяли по критерию Стьюдента. Различия между вариантами опыта были статистически значимыми при $P \leq 0,05$. Дополнительным критерием, подтверждающим достоверность различий между биологическими объектами, являлась фотовизуализация трехсуточных проростков двух партий.

Результаты исследования

Неспецифическим показателем, характеризующим физиологическое состояние семян растений, является динамика интенсивности прорастания, которая указывает на пробуждение, выход семян из состояния вынужденного покоя и начальных этапов роста. Опережающее прорастание одних зерновок по сравнению с другими свидетельствует о повышенной активности регуляторных гормональных и ферментативных систем у первых по отношению ко вторым.

Обработка разнокачественных (стрессированных и интактных) семян яровой пшеницы Эмистимом в диапазоне от пониженных до повышенных доз способствовала ускорению прорастания семян, которое сопровождалось визуально фиксируемым «наклевом», то есть прободением плодовой оболочки зерновки первичным корешком (табл.1). Наиболее выраженное увеличение числа проросших зерновок к контролю на первые сутки отмечалось в опытных вариантах у стрессированных семян. Превышение, в зависимости от дозы препарата, варьировало от 45,5 % до 51,3 %, тогда как у интактных семян, соответственно, от 30,6 % до 34,2 %. На вторые сутки различия между опытными вариантами и контролем у стрессированных и интактных семян уменьшились соответственно до 9,7-12,8 % и 6,7-8,3 %, но тем не менее оставались существенными.

Значимые различия в ускорение динамики прорастания стрессированных семян опытных вариантов по отношению к контролю сохранялись до трех суток у стрессированных и до двух у интактных. В последующие сутки проращивания семян различия между контролем и опытными вариантами нивелировались.

Следует отметить, что в течение первых двух суток проращивания абсолютное по величине количество проросших интактных семян было существенно больше, чем у стрессированных, как в контроле, так и в опытных вариантах. Эти различия между контрольными вариантами на первые и вторые сутки составляли соответственно 27,8 % и 8,5 %. В опытных одноименных вариантах в первые сутки – 16,5% -7,1%, на вторые сутки только в одном варианте с пониженной дозой – 6,1 %. На четвертые и пятые сутки проращивания различия между контролем и опытными вариантами у интактных и стрессированных семян были несущественными. Также не выявлено значимой разницы между одноименными вариантами разнокачественных семян. Наблюдается только слабо выраженная тенденция увеличения числа проросших зерновок в опытных вариантах по сравнению с контролем, как у интактных, так и у стрессированных семян. То есть обработка Эмистимом исследованных доз проращивания обеспечивала в лабораторных условиях, на этапе гетеротрофного питания, достоверное ускорение динамики прорастания семян яровой пшеницы в течение первых двух и трех суток.

Общеизвестно, что рост растений на ранних этапах онтогенеза отличается повышенной чувствительностью на воздействие биотических и абиотических стресс-факторов и согласуется с результатами наших исследований (табл.1).

Таблица 1 – Динамика прорастания семян яровой пшеницы при предпосевной обработке Эмистимом (средняя по двум партиям семян)

Варианты опыта (дозы препарата)	Время (сут.)				
	1	2	3	4	5
Интактные (неповрежденные) семена					
Контроль	49,0 ± 4,1**	87,1 ± 3,3 **	95,8 ± 1,4	97,5 ± 0,6	97,5 ± 0,6
Пониженная (15мл/т)	93,2 ± 1,4*	95,4 ± 1,2*	97,2 ± 1,1	98,0 ± 0,5	98,0 ± 0,5

Продолжение таблицы 1

Средняя(25мл/т)	91,7 ± 2,1*	94,6 ± 1,7*	97,4 ± 1,3	98,1 ± 0,4	98,1 ± 0,4
Повышенная(35мл/т)	89,6 ± 3,2*	93,8 ± 1,5*	97,0 ± 1,2	98,1± 0,5	98,1 ± 0,5
Стрессированные семена					
Контроль	31,2 ± 5,2 **	79,6 ± 3,2 **	91,6 ± 1,7	96,0 ± 1,2	96,5 ± 1,1
Пониженная(15мл/т)	76,7 ± 3,8 * **	89,3 ± 1,9 * **	96,5 ± 1,2*	97,4 ± 0,9	97,8 ± 0,9
Средняя(25мл/т)	80,1 ± 2,5 * **	91,9 ± 2,2	95,8 ± 1,5*	96,8 ± 0,7	97,2 ± 0,7
Повышенная (35мл/т)	82,5 ± 2,7 * **	92,4 ± 1,7*	96,7 ± 1,1*	97,0 ± 0,8	97,3 ± 0,6

Примечание: * – статистически значимые различия между контролем и опытными вариантами у интактных и стрессированных семян, ** – статистически значимые различия между одноименными вариантами интактных и стрессированных семян

Обработка интактных семян Эмистимом вызывала существенное увеличение у трехсуточных линейных параметров ростка и первичного корешка по отношению к контролю, в зависимости от дозы препарата, соответственно, на 26,9-35,3 % и 49,3-56,5 % (табл. 2, рис. 1). При этом число первичных корешков было на уровне контроля. Тогда как проростки стрессированных семян опытных вариантов по абсолютным показателям длины ростка и первичного корешка были меньше по сравнению с интактными. Однако на обработку регулятором роста они реагировали более сильной стимуляцией линейного роста ростка и первичного корешка, чем проростки интактных семян. Длина ростка и первичного корешка 3-х сут проростков стрессированных семян опытных вариантов превышала контроль соответственно на 36,9-51,5% и 67,0-71,7%. При этом наблюдалась тенденция увеличения числа первичных корешков к контролю.

Партия А Партия Б

Рис. 1 – Влияние средней дозы (25 мг/т) Эмистим на линейный рост ростков и первичных корешков трехсуточных проростков семян яровой пшеницы партии А и Б (1 – контроль (интактные); 2 – обработка интактных препаратом; 3 – контроль (стрессированные); 4 – обработка стрессированных семян препаратом)

Fig. 1 – Effect of the average dose (25 mg/t) of Emistim on the linear growth of shoots and primary roots of 3-day seedlings of spring wheat seeds of batches A and B (1 – control (intact); 2 – treatment of intact seeds with the preparation; 3 – control (stressed); 4 – treatment of stressed seeds with the preparation)

На седьмые сутки прорастания у проростков сохранялся стимулирующий эффект линейного роста ростка и первичного корешка как у интактных, так и у стрессированных семян, но относительно контроля он был значительно ниже, чем у трехсуточных проростков. Так, длины ростка и первичного корешка у проростков интактных семян опытных вариантов превышали контроль на 20,7-22,1 % и 12,4-13,9 %, у проростков стрессированных семян – на 30,8-26,7 % и 10,7-11,3 %.

Таблица 2 – Влияние обработки семян яровой пшеницы Эмистимом на морфометрические показатели проростков (средняя по двум партиям семян)

Варианты опыта (дозы препарата)	Проростки семян									
	трехсуточные					семисуточные				
	Длина ростка, мм	Длина наибольшего первичного корешка, мм	Число первичных корешков, шт	Воздушно-сухая масса проростков (100 шт/г)		Длина ростка, мм	Длина наибольшего первичного корешка, мм	Число первичных корешков, шт	Воздушно-сухая масса проростков (100 шт/г)	
				р	к				р	к
Интактные (целостные) семена										
Контроль	17,8 ± 1,3	30,6 ± 2,4	3,2 ± 0,2	0,21	0,34	60,4 ± 4,4	91,3 ± 5,8	5,2 ± 0,3	0,55	0,78
Пониженная (15мл/т)	23,0 ± 2,1*	46,1 ± 2,5*	3,3 ± 0,1	0,29	0,40	72,9 ± 5,1*	102,6 ± 6,2	5,5 ± 0,2	0,60	0,85
Средняя (25мл/т)	22,6 ± 1,7*	45,7 ± 2,2*	3,3 ± 0,2	0,27	0,41	73,8 ± 4,6*	103,5 ± 5,9*	5,7 ± 0,3	0,60	0,86
Повышенная (35мл/т)	24,1 ± 2,3*	47,9 ± 3,0*	3,2 ± 0,1	0,27	0,39	73,5 ± 4,9*	104,0 ± 6,3*	5,7 ± 0,3	0,61	0,87
Стрессированные семена										
Контроль	13,0 ± 2,2	21,5 ± 3,1	3,0 ± 0,1	0,14	0,22	47,8 ± 2,9	72,8 ± 4,3	5,0 ± 0,2	0,47	0,75
Пониженная (15мл/т)	17,8 ± 1,9*	35,9 ± 2,6*	3,2 ± 0,2	0,19	0,31	62,5 ± 9,6*	81,7 ± 4,0*	5,3 ± 0,3	0,51	0,81
Средняя (25мл/т)	18,3 ± 2,5*	36,4 ± 3,2*	3,1 ± 0,1	0,21	0,31	64,3 ± 4,1*	83,2 ± 3,9*	5,5 ± 0,3	0,51	0,82
Повышенная (35мл/т)	19,7 ± 2,2*	37,6 ± 2,9*	3,2 ± 0,2	0,22	0,33	65,4 ± 5,0*	83,6 ± 4,1 *	5,5 ± 0,2	0,52	0,82

Примечание: * – Статистически значимые различия с контролем у проростков стрессированных и интактных семян

Обработка Эмистимом способствовала увеличению массы проростков в течение всего периода с тенденцией относительного снижения эффекта стимуляции во времени. Наиболее выраженное снижение воздушно-сухой массы органов проростка опытных вариантов к контролю происходило от трех к семи суткам (табл. 2). Масса трехсуточных проростков интактных и стрессированных семян превышала контроль в зависимости от доз препарата соответственно на 28,6-38,1 %; 32,4-39,6 % и 35,7-57,1 %; 40,9-50,1 %, тогда как у семисуточных проростков интактных и стрессированных семян это превышение к контролю варьировало в диапазоне 9,1-15,0 % и 8,3-10,5 %. Резкое сокращение различий по массе между проростками контроля и опытных вариантов от трех к семи суткам, в условиях гетеротрофного питания, связано с более интенсивным использованием запасных питательных веществ в зерновке под влиянием регулятора роста на образование новых тканей и органов, на ранних этапах прорастания, в сравнении с контролем.

Энергия прорастания, как один из комплексных критериев оценки посевных качеств физиологического состояния семян растений, активности метаболических процессов, баланса фитогормонов и интенсивности начального роста проростков тесно сопряжена с динамикой их прорастания.

Семена двух партий одного года урожая, но сформированные при различных уровнях агротехники и условий уборки урожая на воздействие регуляторов роста отвечали повышением энергии прорастания (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние предпосевной обработки семян разных партий Эмистимом на посевные качества

Варианты опыта (дозы препарата)	Энергия прорастания %	Лабораторная всхожесть %	Энергия прорастания %	Лабораторная всхожесть %
Интактные (целостные) семена				
А			Б	
Контроль	90,0 ± 1,7	96,7 ± 0,3	72,4± 2,1	94,3 ± 1,3
Пониженная (15 мл/т)	96,1 ± 1,2 *	97,3 ± 0,1	82,5 ± 1,7 *	95,2 ± 1,5
Средняя (25 мл/т)	95,6 ± 1,4 *	97,2 ± 0,3	83,1 ± 1,4*	94,7 ± 1,2
Повышенная (35 мл/т)	95,4 ± 0,9 *	96,5 ± 0,4	84,7 ± 1,9 *	95,1 ± 1,1
Стрессированные семена				
А			Б	
Контроль	81,3 ± 2,9 **	95,4 ± 1,5	60,1 ± 2,4 * **	92,9 ± 1,6
Пониженная (15 мл/т)	88,6 ± 2,1 * **	96,2 ± 0,8	75,3 ± 2,2 * **	93,8 ± 0,9
Средняя (25 мл/т)	89,7 ± 1,8 * **	96,9 ± 0,7	76,5 ± 1,9 * **	94,1 ± 1,2
Повышенная (35 мл/т)	91,3 ± 2,0 * **	91,3 ± 2,0 * **	78,8 ± 1,6 * **	93,2 ± 1,3

Примечание: * – статистически значимые различия между контролем и опытными вариантами у интактных и стрессированных семян; ** – статистически значимые различия между одноименными вариантами интактных и стрессированных семян

У интактных семян партии А с более высокой лабораторной всхожестью, чем у семян партии Б на 2,4%, при обработке препаратом энергия прорастания увеличилась на 5,4-6,1 % в зависимости от дозы. Семена партии Б на воздействие Эмистимом реагировали повышением энергии прорастания уже на 10,1-12,3 %. То есть семена с пониженной энергией прорастания отвечали наиболее сильно на обработку регулятором роста.

Однако лабораторная всхожесть у семян обоих партий в опытных вариантах несущественно отличалась от контроля. Сходная ответная реакция на обработку наблюдалась и у стрессированных семян, с той лишь разницей, что у данных семян энергия прорастания более значимо повышалась, чем у интактных. Так, у семян партии А увеличение энергии прорастания в опытных вариантах к контролю было на уровне 7,3-10,1 %, более заметное повышение энергии прорастания происходило у семян партии Б – с 60,1 % в контроле до 75,3-78,7 % в опытных вариантах. Предположительно, семена растений, находящиеся в состоянии стресса, как автономные саморегулирующиеся биосистемы способны восстанавливать нарушенную функциональную активность под влиянием антистрессовых регуляторов роста до исходного состояния предшествующего стресса. Это подтверждается отсутствием значимых различий в показаниях лабораторной всхожести между контролем и опытными вариантами у стрессированных семян обоих партий. Таким образом, физиологически разнокачественные семена яровой пшеницы на воздействие регулятора роста Эмистима отвечают адаптивно-защитной реакцией по восстановлению активности обменных процессов и тесно связанных с ними морфофизиологических показателей роста на ранних этапах онтогенеза. Наиболее выраженно восстановительные и рост-стимулирующие процессы протекают у семян, находящихся в состоянии более сильного угнетения.

Заключение

Общеизвестные представления об элиситорной способности отдельных регуляторов роста индуцировать экспрессию генов растительного организма, ответственных за реализацию иммунных защитных реакций, блокирующих развитие биотического стресса, вызванного вредоносными организмами, дополняются менее известными экспериментальными данными об их универсальных антистрессовых свойствах.

Результаты лабораторных опытов позволяют предположить, что на этапе гетеротрофного питания растительный организм на воздействие регулятора роста с элиситорной способностью отвечает синтезом сигнальных молекул, направленных не только на активизацию защитных реакций против биотического, но и абиотического стресса. Состояние стресса у растений, индуцированное экстремальными воздействиями факторов биотической и абиотической природы, сопровождается развитием неспецифических адаптивных реакций, снижением функциональной и гормональной

активности, угнетением роста.

В качестве рабочей гипотезы предполагается, что проростки семян, находящиеся в состоянии стресса, индуцированного физическими стресс-факторами (ударно-механические и гипертермические), на обработку регуляторами роста отвечали синтезом широкого диапазона метаболитов с биорегуляторной активностью, не исключено – фитогормональной природы. На это указывает резкое ускорение динамики прорастания семян яровой пшеницы, обработанных Эмистимом, а также стимуляция линейного роста ростка и первичных корешков и увеличение энергии прорастания семян. Следовательно, Эмистим индуцирует не только иммуномодулирующие и защитные свойства у растений к вредным организмам, но и выраженный ростостимулирующий эффект у семян, находящихся в состоянии стресса, что дает возможность использовать данный препарат как элемент предпосевной обработки семян в интенсивных антистрессовых агротехнологиях выращивания зерновых культур.

Выводы

При предпосевной обработке двух партий семян яровой пшеницы сорта Дарья не установлено достоверных различий в интенсивности прорастания линейного роста и энергии между дозами регулятора роста Эмистим, Р в диапазоне 15-35 мл/т. Под влиянием регулятора роста динамика прорастания на первые и вторые сутки у стрессированных семян к контролю увеличилась на 45,5-51,3 %, у интактных, соответственно, на 30,6-34,2 %. На четвертые и пятые сутки различия между опытными вариантами и контролем нивелировались. Максимальная стимуляция линейного роста органов проростков отмечалась на третьи сутки проращивания и превышала контроль у стрессированных семян на 36,9-71,7 %, у интактных – на 26,9-56,5 %. Обработка семян перед проращиванием партий А и Б регулятором роста способствовала повышению энергии прорастания у интактных семян соответственно на 5,4-6,1 % и 10,1-12,3 %. У стрессированных семян данных партий в опытных вариантах увеличение энергии прорастания к контролю составляло 7,3-10,1 % и 15,2-18,6 %.

Список источников

1. Антошина, О. А. Эффективность использования биопрепаратов при выращивании озимой пшеницы в условиях Рязанской области / О. А. Антошина, В. И. Левин, А. С. Ступин // Научно-практические инициативы и инновации для развития регионов России : Материалы Национальной научной конференции, Рязань, 25 июня 2015 года / Министерство сельского хозяйства российской федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2015. – С. 132-135. – EDN RNTTJZ.

2. Вакуленко, В. В. Регуляторы роста и микроудобрения - факторы повышения продуктивности культур / В. В. Вакуленко // Защита и карантин растений. – 2015. – № 3. – С. 43. – EDN TLAABX.

3. Влияние репродукций на урожайность и посевные качества семян ярового ячменя / Г. А. Филенко, Ю. Г. Скворцова, Т. И. Фирсова, Е. Г. Филиппов // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 3(57). – С. 53-57. – DOI 10.31367/2079-8725-2018-57-3-53-57. – EDN XSEXRZ.

4. Гришечкина, Л. Д. Эффективность и экологическая безопасность современных фунгицидов для защиты зерновых культур / Л. Д. Гришечкина, В. И. Долженко // Агрохимия. – 2013. – № 12. – С. 28-33. – EDN RPJKNF.

5. Дмитриев, А. П. Сигнальные молекулы растений для активации защитных реакций в ответ на биотический стресс / А. П. Дмитриев // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 465-474. – EDN OOPVEL.

6. Долженко, В. И. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность / В. И. Долженко, А. Б. Лаптиев // Плодородие. – 2021. – № 3(120). – С. 71-75. – DOI 10.25680/S19948603.2021.120.13. – EDN ZUQONQ.

7. Захаренко, В. А. Фитосанитарные риски в зерновом производстве / В. А. Захаренко, А. С. Васютин // Защита и карантин растений. – 2014. – № 7. – С. 3-7. – EDN SGFOFB.

8. Захаренко, В. А. Экономическая оценка потенциала иммунитета растений к вредным организмам / В. А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 2010. – № 6. – С. 4-7. – EDN MDWYYJ.

9. Зимина, Т.В. Полифункциональные препараты на основе элиситоров в агротехнологиях современного растениеводства / Т.В. Зимина, Т.А. Рябчинская // Главный агроном, №10. 2017

10. Левин, В. И. Последействие стресс-факторов на прорастание и посевные качества семян зерновых культур / В. И. Левин, Л. А. Антипкина, А. С. Ступин // Вестник Курганской ГСХА. – 2023. – № 4(48). – С. 3-10. – EDN XYUPKS.

11. Левин, В. И. Состояние и перспективы использования инновационных экологически безопасных агротехнологий в аграрно-промышленном комплексе / В. И. Левин // Международный пенитенциарный журнал. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 13-16. – EDN XSMTTF.

12. Лухменев, В.П. Регуляторы роста и иммуностимуляторы неспецифического антистрессового действия на яровой пшенице / В.П. Лухменев // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2004, №4. – С. 18-20.

13. Перепичай, М.И. Влияние качества семян ярового ячменя на его урожайность / М.И. Перепичай // Теория и практика современной науки, 2017. - №1 (19). С. 762-765.

14. Роль полифункциональных регуляторов роста растений в преодолении гербицидного стресса / М. М. Наумов, Т. В. Зимина, Е. И. Хрюкина, Т. А. Рябчинская // Агрохимия. – 2019. – № 5. – С. 21-28. – DOI 10.1134/S0002188119050077. – EDN EPNMYP.

15. Состояние стресса у семян хлебных злаков и методика его диагностики / В. И. Левин, Н. Н. Дудин, Л. А. Антипкина, Р. Н. Ушаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5(187). – С. 28-38. – EDN XVAKQB.

16. Соколов, Ю. А. Элиситоры и их применение в растениеводстве / Ю. А. Соколов. – Минск : Белорусская наука, 2016. – 202 с. – ISBN 978-985-08-1972-7. – EDN YSMWGR.

17. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Справочное издание. – М, 2021.

18. Экологические аспекты использования химических средств защиты растений на яровом ячмене и пшенице / В. П. Лухменев, А. Х. Нугуманов, А. И. Ахметшин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2005. – № 1(5). – С. 58-61. – EDN MTEOUZ.

19. Яблонская, Е. К. Применение экзогенных элиситоров в сельском хозяйстве / Е. К. Яблонская // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 109. – С. 1247-1263. – EDN TWGMHX.

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

References

1. Antoshina, O. A. E`ffektivnost` ispol`zovaniya biopreparatov pri vy`rashhivanii ozimoj pshenicy v usloviyax Ryazanskoj oblasti / O. A. Antoshina, V. I. Levin, A. S. Stupin // Nauchno-prakticheskie iniciativy` i innovacii dlya razvitiya regionov Rossii : Materialy` Nacional`noj nauchnoj konferencii, Ryazan`, 25 iyunya 2015 goda / Ministerstvo sel`skogo xozyajstva rossijskoj federacii, federal`noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvenny`j agrotexnologicheskij universitet imeni P.A. Kosty`cheva». – Ryazan`: Ryazanskij gosudarstvenny`j agrotexnologicheskij universitet im. P.A. Kosty`cheva, 2015. – S. 132-135. – EDN RNTTJZ.

2. Vakulenko, V. V. Regulyatory` rosta i mikroudobreniya - faktory` povy`sheniya produktivnosti kul`tur / V. V. Vakulenko // Zashhita i karantin rastenij. – 2015. – № 3. – S. 43. – EDN TLAABX.

3. Vliyanie reprodukcij na urozhajnost` i posevny`e kachestva semyan yarovogo yachmenya / G. A. Filenko, Yu. G. Skvorczova, T. I. Firsova, E. G. Filippov // Zernovoe xozyajstvo Rossii. – 2018. – № 3(57). – S. 53-57. – DOI 10.31367/2079-8725-2018-57-3-53-57. – EDN XSEXRZ.

4. Grishechkina, L. D. E`ffektivnost` i e`kologicheskaya bezopasnost` sovremenny`x fungicidov dlya zashhity` zernovy`x kul`tur / L. D. Grishechkina, V. I. Dolzhenko // Agroximiya. – 2013. – № 12. – S. 28-33. – EDN RPJKNF.

5. Dmitriev, A. P. Signal`ny`e molekuly` rastenij dlya aktivacii zashhitny`x reakcij v otvet na bioticheskij stress / A. P. Dmitriev // Fiziologiya rastenij. – 2003. – T. 50, № 3. – S. 465-474. – EDN OOPVEL.

6. Dolzhenko, V. I. Sovremenny`j assortiment sredstv zashhity` rastenij: biologicheskaya e`ffektivnost` i bezopasnost` / V. I. Dolzhenko, A. B. Laptiev // Plodorodie. – 2021. – № 3(120). – S. 71-75. – DOI 10.25680/S19948603.2021.120.13. – EDN ZUQONQ.

7. Zaxarenko, V. A. Fitosanitarny`e riski v zernovom proizvodstve / V. A. Zaxarenko, A. S. Vasyutin // Zashhita i karantin rastenij. – 2014. – № 7. – S. 3-7. – EDN SGFOFB.

8. Zaxarenko, V. A. E`konomicheskaya ocenka potenciala immuniteta rastenij k vredny`m organizmam / V. A. Zaxarenko // Zashhita i karantin rastenij. – 2010. – № 6. – S. 4-7. – EDN MDWYYJ.

9. Zimina, T.V. Polifunkcional`ny`e preparaty` na osnove e`lisitorov v agrotexnologiyax sovremennogo rastenievodstva / T.V. Zimina, T.A. Ryabchinskaya // Glavny`j agronom, №10. 2017

10. Levin, V. I. Posledejstvie stress-faktorov na prorastanie i posevny`e kachestva semyan zernovy`x kul`tur / V. I. Levin, L. A. Antipkina, A. S. Stupin // Vestnik Kurganskoj GSXA. – 2023. – № 4(48). – S. 3-10. – EDN XYUPKS.

11. Levin, V. I. Sostoyanie i perspektivy` ispol`zovaniya innovacionny`x e`kologicheski bezopasny`x agrotexnologij v agrarno-promy`shlennom komplekse / V. I. Levin // Mezhdunarodny`j penitenciarny`j zhurnal. – 2018. – T. 4, № 1. – S. 13-16. – EDN XSMTTF.

12. Luxmenev, V.P. Regulyatory` rosta i immunostimulyatory` nespecificheskogo antistressovogo dejstviya na yarovoj pshenice / V.P. Luxmenev // Vestnik Rossijskoj akademii sel`skoxozyajstvenny`x nauk. 2004, №4. – S. 18-20.

13. Perepichaj, M.I. Vliyanie kachestva semyan yarovogo yachmenya na ego urozhajnost` / M.I. Perepichaj // Teoriya i praktika sovremennoj nauki, 2017. - №1 (19). S. 762-765.

14. Rol` polifunkcional`ny`x regulyatorov rosta rastenij v preodolenii gerbicidnogo stressa / M. M. Naumov, T. V. Zimina, E. I. Xryukina, T. A. Ryabchinskaya // Agroximiya. – 2019. – № 5. – S. 21-28. – DOI 10.1134/S0002188119050077. – EDN EPNMYP.

15. Sostoyanie stressa u semyan xlebny`x zlakov i metodika ego diagnostiki / V. I. Levin, N. N. Dudin, L. A. Antipkina, R. N. Ushakov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 5(187). – S. 28-38. – EDN XVAKQB.

16. Sokolov, Yu. A. E`lisitory` i ix primenenie v rastenievodstve / Yu. A. Sokolov. – Minsk: Belorusskaya

nauka, 2016. – 202 s. – ISBN 978-985-08-1972-7. – EDN YSMWGR.
17. Spisok pesticidov i agroximikatov, razreshenny`x k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii. Spravochnoe izdanie. – M, 2021.
18. E`kologicheskie aspekty` ispol`zovaniya ximicheskix sredstv zashhity` rastenij na yarovom yachmene i pshenice / V. P. Luxmenev, A. X. Nugumanov, A. I. Axmetshin [i dr.] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2005. – № 1(5). – S. 58-61. – EDN MTEOUZ.
19. Yablonskaya, E. K. Primenenie e`kzogenny`x e`lisitorov v sel`skom xozyajstve / E. K. Yablonskaya // Politematicheskij setevoj e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 109. – S. 1247-1263. – EDN TWGMHX.

Contribution of the authors:
All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Левин Виктор Иванович, д-р с-х наук, профессор, профессор кафедры лесного дела и садоводства, ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, Россия, levin-49@bk.ru
Акулина Ирина Александровна, ассистент кафедры селекции, семеноводства и агрохимии, ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, Россия, rinnays7@gmail.com
Антипкина Людмила Анатольевна, канд. с-х наук, доцент, доцент кафедры лесного дела и садоводства ФГБОУ ВО РГАТУ, г. Рязань, Россия, latalanova@ya.ru

Author Information

Levin Viktor I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Forestry and Horticulture of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Aviation Technical University, Ryazan, Russia, levin-49@bk.ru
Akulina Irina A., assistant at the Department of Breeding, Seed Growing and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Aviation Technical University, Ryazan, Russia, rinnays7@gmail.com
Antipkina Lyudmila A., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry and Horticulture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Technical University, Ryazan, Russia, latalanova@ya.ru

Статья поступила в редакцию 03.10.2024; одобрена после рецензирования 19.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.
The article was submitted to the editorial office 03.10.2024; approved after review 19.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 36-41
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 36-41

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2:673.115.6:004
DOI: 10.36508/RSATU.2024.82.44.006

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗДОРОВЬЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ КОРОВ В ОХОТЕ

Игорь Александрович Морозов

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

igor.mor@rgatu.ru

Аннотация.
Проблемы и цель. *Цель исследования – анализ воспроизводительных качеств голштинских коров в зависимости от использования информационной технологии – системы выявления коров в охоте «Хитайм» и своевременного осеменения. Применение цифровых технологий является важным условием повышения эффективности отрасли молочного скотоводства. Племенная работа с голштинской породой скота требует оценки животных по основным хозяйственно-полезным признакам, влияющим на производственные показатели: уровень воспроизводства в стаде, молочная продуктивность, состояние здоровья и продолжительность жизни. Особенностью голштинского скота является высокая молочная продуктивность и проблемы с показателями воспроизводства стада. Одной из основных проблем является продолжительность сервис-периода свыше 90 дней. В условиях круглогодового беспривязного содержания возникает проблема своевременного выявления коров в охоте и осеменение в первую или во вторую охоту. Сервис-период оказывает влияние на выход телят, молочную продуктивность, продолжительность межотельного интервала и экономическую эффективность производства молока.*
Методология. *Экспериментальные исследования проводили на молочном комплексе племенного завода «Авангард» Рязанского района на двух группах коров-аналогов голштинской породы с поголовьем по 15 голов в каждой группе. Наблюдение за двигательной активностью коров после отела проводили после первого отела, начиная со второго месяца второй лактации и до плодотворного осеменения. В контрольной группе выявление коров в охоте проводили визуально, а для коров опытной группы использовали цифровую систему, оснащенную датчиком двигательной активности, позволяющую выявить повышенную активность и падение руминации (время овуляции яйцеклетки). При выполнении работы в качестве исходного материала для анализа показателей воспроизводства и продуктивности были взяты сведения программы управления стадом DairyComp 305. Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с использованием критерия достоверности Стьюдента.*
Результаты. *Результаты исследований показали, что возраст первого отела у коров-аналогов находился в пределах 23,1-23,5 месяца. В опытной группе он составил 23,5 месяца и был на 0,4 месяца больше по сравнению с контрольной группой. Удой коров за 305 дней первой лактации находился на уровне 9173-9622 кг. Массовая доля жира в обеих группах была одинаковой – 3,64 %, а белка – 3,21-3,23 %. Среднесуточный удой коров в период опыта находился на уровне 30-30,7 кг и был практически одинаковым. Сервис-период голштинских коров превышал норму и колебался в пределах 128-135 дней. Применение цифровой системы для своевременного выявления охоты у коров опытной группы оказало положительное влияние на сокращение сервис-периода на 7 дней (при $P<0,05$). Сокращение сервис-периода у коров опытной группы привело к уменьшению межотельного периода. Продолжительность межотельного периода в опытной группе составила 373 дня, в группе коров контрольной группы этот показатель составлял 380 дней.*
Заключение. *Применение цифровой системы для выявления охоты у коров и состояния здоровья способствует сокращению сервис-периода у лактирующих коров на 7 дней и межотельного интервала на 7 дней. Дальнейшая работа в данном направлении будет способствовать повышению стельности коров, выхода телят, молочной продуктивности и экономической эффективности производства молока.*

Ключевые слова: *коровы гоштинской породы, цифровая система, охота, сервис-период, межотельный период, молочная продуктивность, массовая доля жира, массовая доля белка, возраст первого отела*

© Морозов И. А., 2024 г.

Для цитирования: *Морозов И. А. Технология производства молока с использованием цифровой системы контроля здоровья и выявления коров в охоте // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4. С. 36-41 https://doi.org 10.36508/RSATU.2024.82.44.006*

Original article

MILK PRODUCTION TECHNOLOGY USING DIGITAL HEALTH MONITORING SYSTEM AND IDENTIFICATION OF COWS IN HUNTING

Igor A. Morozov

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

igor.mor@rgatu.ru

Annotation.
Problems and purpose. *The purpose of the study: The use of digital technologies is an important condition for improving the efficiency of the dairy cattle industry. Breeding work with the Holstein breed of cattle requires the assessment of animals according to the main economically useful characteristics that affect production indicators: the level of reproduction in the herd, milk productivity, health status and life expectancy. The peculiarity of Holstein cattle is the high milk productivity and problems with the reproduction of the herd. One of the main problems is the length of the service period over 90 days. In conditions of year-round loose housing, there is a problem of timely detection of cows in hunting and insemination in the first or second hunt. The service period has an impact on the yield of calves, milk productivity, the length of the interbody interval and the economic efficiency of milk production.*
Methodology. *Experimental studies were carried out at the dairy complex of the Avangard breeding plant in the Ryazan region on two groups of cows-analogues of the Holstein breed with a population of 15 heads in each group. The motor activity of cows after calving was monitored after the first calving, starting from the second month of the second lactation and until fruitful insemination. In the control group, the identification of cows in the hunt was carried out visually, and for the cows of the experimental group, a digital system equipped with a motor activity sensor was used to detect increased activity and a drop in rumination (ovulation time of the egg). When performing the work, information from the DairyComp 305 herd management program was taken as the source material for the analysis of reproduction and productivity indicators. The obtained results were processed by the method of variational statistics using the Student's confidence criterion.*
Results. *The results of the research showed that the age of the first calving in cows of analogues was in the range of 23.1-23.5 months. In the experimental group, it was 23.5 months and was 0.4 months longer than in the control group. The milk yield of cows for 305 days of the first lactation was at the level of 9173-9622 kg. The mass fraction of fat in both groups was the same – 3.64%, and protein 3.21-3.23%. The average daily milk yield of cows during the experiment was at the level of 30-30.7 kg and was almost the same. The service period of Holstein cows exceeded the norm and ranged from 128 to 135 days. The use of a digital system for timely detection of hunting in cows of the experimental group had a positive effect on reducing the service period by 7 days (at P<0.05). The shortening of the service period in the cows of the experimental group led to a decrease in the interbody period. The duration of the interbody period in the experimental group was 373 days compared to the fact that in the group of cows in the control group, this indicator was 380*
Conclusion. *The use of a digital system for detecting hunting in cows and health status helps to reduce the service period in lactating cows by 7 days and the interbody interval by 7 days. Further work in this direction will contribute to increasing the pregnancy rate of cows, the yield of calves, milk productivity and the economic efficiency of milk production.*

Key words: *Goshta cows, digital system, hunting, service period, interbody period, milk productivity, mass fraction of fat, mass fraction of protein, age of the first calving.*

For citation: *Morozov I.A. Milk production technology using digital health monitoring system and identification of cows in hunting // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 36-41 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.82.44.006*

Введение

Применение передовых информационных технологий является важным условием обеспечения повышения производительности труда в животно¬водстве и в целом повышения эффективности отрасли молочного скотоводства. Добиться больших результатов могут помочь электронные программы для управления стадом, такие как Dairy Comp 305, программы для составления рационов для балансирования по питательным веществам корма, программы для ведения племенного учета животных, программы для учета продуктивности и др. [1,3,4,5].

Основное направление работы племенного завода ООО «Авангард» – молочное скотоводство, здесь постоянно проводится племенная работа по повышению генетического потенциала коров голштинской породы путем чистопородного раз-

ведения. Племенная работа с голштинской породой требует оценки животных по основным хозяйственно-полезным признакам, влияющим на производственные показатели (уровень воспроизводства в стаде, состояние здоровья, продолжительность жизни и т.д.) [3].

Особенностью голштинского скота является высокая молочная продуктивность и проблемы с показателями воспроизводства стада. Одной из основных проблем является продолжительность сервис-периода свыше 139-141 дня при норме 90 дней. В условиях круглогодового беспривязного содержания возникает проблема своевременного выявления коров в охоте и осеменение в первую или во вторую охоту [6].

Сервис-период оказывает влияние на выход телят, молочную продуктивность, продолжительность хозяйственного использования коров и экономическую эффективность производства молока. В настоящее время информационно-аналитические системы являются неотъ¬емлемой частью управления племенным животноводством [5].

В связи с актуальностью проблемы нами был проведен анализ воспроизводительных качеств голштинских коров в зависимости от использования информационной технологии – системы выявления коров в охоте «Хитайм» и своевременного осеменения.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования проводили на молочном комплексе племенного завода «Авангард» Рязанского района на двух группах коров-аналогов голштинской породы с поголовьем по 15 голов в каждой группе. Наблюдение за двигательной активностью коров после отела проводили после первого отела, начиная со второго месяца второй лактации и до плодотворного осеменения. В контрольной группе выявление коров в охоте проводили визуально, а для коров опытной группы использовали цифровую систему, оснащенную датчиком двигательной активности, позволяющую выявить повышенную активность и падение руминации (время овуляции яйцеклетки). При выполнении работы в качестве исходного материала для анализа показателей воспроизводства и продуктивности были взяты сведения программы управления стадом Dairy Comp 305. Программа содержит полную информацию о животных по всем лактациям, об отелах и теку¬щем состоянии здоровья и о проводимых мероприятиях. Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с применением критерия достоверности Стьюдента.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что цифровые технологии стали неотъемлемой составляющей технологии производства молока и искусственного осеменения коров и телок. Во многих странах мира специалисты применяют цифровую систему выявления коров в охоте и различных заболеваний у коров – систему Хитайм [2,7].

В условиях беспривязного содержания на крупных молочных комплексах очень сложно выявить охоту у высокопродуктивных коров и технику по искусственному осеменению приходится тратить много времени для выявления охоты, а иногда и тратить спермодозы из-за неправильного выявления периода осеменения. Процесс трудоемкий и продолжительный, однако результат не всегда удовлетворяет, так как более 60 % коров проявляют признаки возбуждения в ночное время.

Цифровая система выявления коров в охоте – Хитайм – создана для помощи техникам по искусственному осеменению и постоянно фиксирует динамику двигательной активности коров, следит за стадом 24 часа в сутки. Своевременное оповещение о наличии коров в охоте не позволяет пропускать тихие и скоротечные охоты, определяет время осеменения для каждой коровы.

Рис.1 – Система Хитайм закреплена на ошейнике коров
Fig. 1 – The Hittime system is fixed on the collar of cows

Основой системы Хитайм является уникальный датчик, который при помощи ремня фиксируется на яремной вене коровы, измеряет ускорение и динамику движения коровы, и это является самым важным показателем по выявлению новой охоты коровы. Вторая часть датчика – акустический процессор. Он настроен на частоту сокращений рубца и повторение жевательных движений – руминации. По руминации можно определить состояние здоровья и, особенно, состояние охоты.

Антенна HeatimePro+™ получает данные от датчиков, обрабатывает полученную информацию и делает ее доступной через Интернет. В период овуляции (выделения яйцеклетки) динамика жевательных движений возрастает, наступает атония и график рисует ромб – точное время для осеменения коров. Транспондеры считывают и сохраняют информацию по каждому животному, передают ее в терминал управления с помощью антенны, установленной на входе в доильный зал. Связь антенны с транспондером осуществляется в инфракрасном частотном диапазоне. Инфракрасная волна не подвержена помехам,

что исключает ошибки идентификации и потерю данных. Терминал управления – миникомпьютер с сенсорным дисплеем – получает результаты с транспондеров, анализирует их и выдает результаты в удобном графическом виде. По каждой корове заполняется карта с информацией: номер транспондера, номер коровы, номер группы, дата рождения, дата последнего осеменения, изменение активности руминации, средняя руминация, количество часов с последней ID, в дойке/возраст, тест на стельность).

Рис. 2 – Антенна bu500e
Fig. 2 – bu500e antenna

Первые 10-14 дней система накапливает информацию по каждой корове и рассчитывает базисный уровень активности для данной особи, уровень активности и суточную руминацию, жвачку.

В дальнейшем происходит сравнение с базисным уровнем и при наличии отклонений подается соответствующее оповещение. При наступлении половой охоты активность коровы устойчиво повышается. Система фиксирует повышение активности, рассчитывает уровень изменения активности относительно базисного для данной коровы уровня и оптимальное время плодотворного осеменения. После появления отчета по искусственному осеменению есть время – 18-24 часа для осеменения.

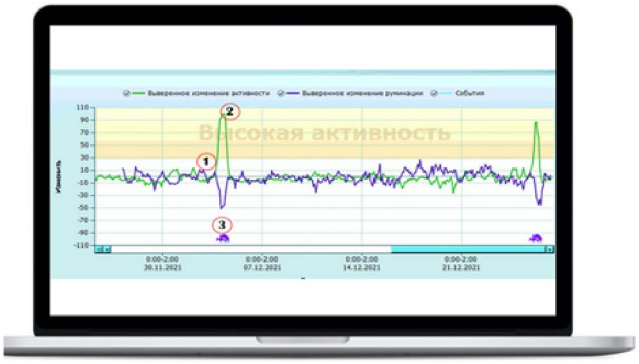


Рис. 3 – На графике повышение активности коровы
Fig. 3 – The graph shows an increase in cow activity

На экран терминала управления выводится оповещение о корове в охоте, а в меню «Корова в охоте» – подробная информация о корове.

Для получения детальной информации о течении и полноценности охоты существует система графиков изменения и руминации. Падение руминации служит вторичным признаком половой охоты. В течение стадий возбуждения цикла половая доминанта подавляет пищевую, потребление корма снижается, суточная руминация падает.

Графики изменения активности и руминация во время половой охоты образуют ромб, наличие ромба является достоверным признаком половой охоты.

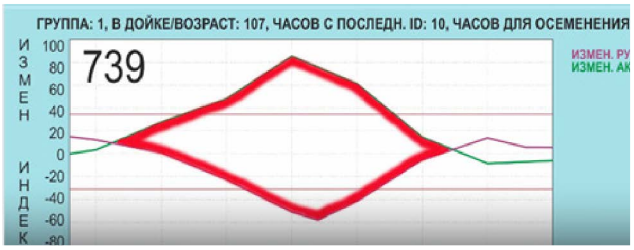


Рис.4 – Графики изменения активности и руминация во время половой охоты образуют ромб
Fig. 4 – Graphs of activity changes and rumination during sexual hunting form a rhombus

Система Хитайм определяет половую активность и обеспечивает контроль здоровья животных. При снижении активности животного ниже установленных границ, а также при нарушении жвачки система подает сигнал соответствующего оповещения в отчете о коровах с низкой активностью.

Регулярный просмотр данного отчета позволяет выявить заболевание на ранних стадиях и своевременно начать лечение. Многие гинекологические заболевания сопровождаются снижением двигательной активности животных: при родовом парезе, отделении последа, эндометритах и острых маститах. Большинство заболеваний крупного рогатого скота сопровождается нарушением руминации. Благодаря мониторингу руминации стало возможным выявление заболеваний желудочно-кишечного тракта и нарушений обмена веществ на ранних стадиях (отравление, атония рубца, кетоз, ацидоз), влияющих на пищеварение.

Удобное графическое отображение данных позволяет легко отслеживать половую цикличность коровы. При нарушении ритма половых циклов можно выявить различные функциональные расстройства яичников, такие как лютеиновая киста и персистентное тело.

После двух пропущенных циклов охоты можно определить, что корова стельная, подтверждая это ректальным исследованием с помощью УЗИ.

Результаты исследований показали, что возраст первого отела у коров-аналогов находился в пределах 23,1-23,5 месяца. В опытной группе он составил 23,5 месяца и был на 0,4 месяца больше по сравнению с контрольной группой. Удой коров за 305 дней первой лактации находился на уровне 9173-9622 кг. Массовая доля жира в обеих группах была одинаковой – 3,64 %, а белка 3,21-3,23 %.

Среднесуточный удой коров в период опыта находился на уровне 30-30,7 кг и был практически одинаковым. Сервис-период голштинских коров превышал норму и колебался в пределах 128-135 дней. Применение цифровой системы для своевременного выявления охоты у коров опытной группы оказало положительное влияние на сокращение сервис-периода на 7 дней (при P<0,05). Сокращение сервис-периода у коров опытной группы привело к уменьшению межотельного периода. Продолжительность межотельного периода в опытной группе составила 373 дня, в группе коров контрольной группы этот показатель составлял 380 дней.

Таблица 1 – Показатели воспроизводства коров контрольной и опытной групп (n=15)

Показатели	Контрольная группа	Опытная	± к контрольной группе%	
			абс. ед.	%
Возраст 1 отела, мес.	23,1±0,32	23,5±0,9	+0,4	+1,7
Удой за 305 дней первой лактации, кг	9173,8±38	9622±62*	+449	+4,9
Массовая доля жира, %	3,64±0,003	3,64±2,67	-	0,0
Массовая доля белка, %	3,21±0,02	3,23±0,02	+0,01	+0,3
Сервис-период, дней	135±067*	128±0,7	-7	5,45
Межотельный период, дней	380±2,06*	373±2,06	-7	5,45
Среднесуточный удой, кг	30,0±1,4	30,7±1,8	+0,7	+2,3

* – Различия статистически достоверны при значении P<0,05

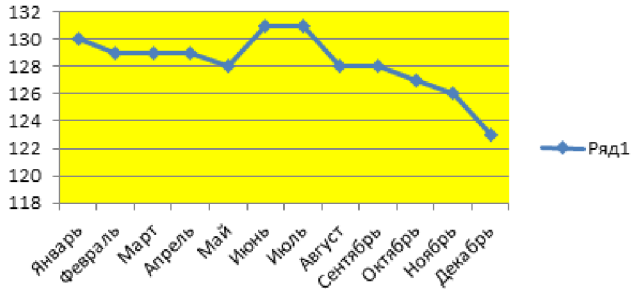


Рис. 5 – Мониторинг сервис-периода у коров по стаду при использовании цифровой системы
Fig. 5 – Monitoring the service period of cows in a herd using a digital system

На рисунке 5 приведен мониторинг сервис-периода у коров по стаду голштинских коров при использовании цифровой системы выявления охоты в период с января по декабрь 2023 года.

На основании графического изображения продолжительности сервис-периода коров по месяцам 2023 годы наблюдается тенденция к явному уменьшению. С января по август 2023 года сервис-период имел продолжительность на уровне 130-131 дня, по мере дальнейшего применения цифровой системы по выявлению коров в охоте продолжительность сервис-периода сокращалась и в декабре она составила 123 дня.

Выводы

1. Применение цифровой системы для своевременного выявления охоты у коров опытной группы оказало положительное влияние на сокращение сервис-периода и межотельного периода на 7 дней (при P<0,05).

2. Сервис-период голштинских коров дойного стада на молочном комплексе в период с января по декабрь 2023 года имел тенденцию к сокращению со 130 дней в январе и до 123 дней в декабре.

Заключение

Применение цифровой системы для выявления охоты у коров и состояния здоровья способствует сокращению сервис-периода у лактирующих коров на 7 дней и межотельного интервала на 7 дней. Дальнейшая работа в данном направлении будет способствовать повышению стельности коров, выхода телят, молочной продуктивности и экономической эффективности производства молока.

Список источников

1. Артемова, Е.И. Цифровизация как инструмент инновационного развития молочного скотоводства. /Е.И. Артемова, Н.М. Шпак. //Вестник Академии знаний. – 2019. - №2 (31). –С. 15-19.

2. Кровикова, А.Н. Ф.Р. Бакай, К.С. Мехтиев [Текст]. Воспроизводительная способность у коров голштинской породы разных генотипов. / / Кровикова, А.Н. Ф.Р. Бакай, К.С. Мехтиев. //Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. (№4 (118). Часть I. – С. 149-152.

3. Морозова, Н.И. Хозяйственно-биологические особенности коров гоштинской породы венгерской селекции при круглогодовом стойловом содержании. [Текст]. /Г.М. Туников, Н.И. Морозова, Ф.А. Мусаев, В.И. Лебедев, Л.В. Иванова.// (SCOPUSPrevieü) Date: 10 november 2018.(UAE) Eissn- 524x. Subiekt Acceptance Letter.

4. Мусаев, Ф.А. Цифровые технологии АПК [Текст]. Монография. //А.В. Шемякин, О.А. Захарова, Ф.А. Мусаев, С.Н. Борычев, Д.Е. Кучер, Е.И.

Машкова, И.И. Садовая. ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева. – 2022. – 207 с.

5. Суровцев, В.Н. Повышение конкурентоспособностипроизводств молока на основе синергии цифровизации и биотехнологии. /В.Н. Суровцев. // Молочное и мясное скотоводство. -2019. -№4. –С. 7-14.

6. Шевхужев, А.Ф. Воспроизводительная способность голштинского скота отечественной и зарубежной селекций. [Текст]. /А.Ф. Шевхужев, А.А. Тумов. //Вестник РГАТУ. - №1 (37). – 2018. – С.66-70.

7. Система точного определения времени осеменения коровы и определения состояния здоровья коровы HEATIME от компании SCR (Израиль). //https://agroserver.ru/b/sistema-tochnogo-opredeleniya-vremeni-osemeneniya-korovy-i-opre-595849.htm

References

1. Artemova, E.I. Cifrovizaciya kak instrument innovacionnogo razvitiya molochnogo skotovodstva. /E.I. Artemova, N.M. Shpak. //Vestnik Akademii znanij. – 2019. - №2 (31). –S. 15-19.

2. Krovikova, A.N. F.R. Bakaj, K.S. Mekhtiev [Tekst]. Vosproizvoditel'naya sposobnost' u korov golshtinskoj porody raznyh genotipov. / /Krovikova, A.N. F.R. Bakaj, K.S. Mekhtiev. //Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2022. (№4 (118). Chast' I. – S. 149 -152.

3. Morozova, N.I. Hozyajstvenno-biologicheskie osobennosti korov goshtinskoj porody vengerskoj selekcii pri kruglogodovom stojlovom soderzhanii. [Tekst]. /G.M. Tunikov, N.I. Morozova, F.A. Musaev, V.I. Lebedev, L.V. Ivanova. ////(SCOPUSPrevieü) Date: 10 november 2018.(UAE) Eissn- 524x. Subiekt Acceptance Letter.

4. Musaev, F.A. Cifrovye tekhnologii APK [Tekst]. Monografiya. //A.V. Shemyakin, O.A. Zaharova, F.A. Musaev, S.N. Borychev, D.E. Kucher, E.I. Mashkova, I.I. Sadovaya. FGBOU VO RGATU im. P.A. Kostycheva. – 2022. – 207 s.

5. Surovcev, V.N. Povyshenie konkurentosposobnostiproizvodstv moloka na osnove sinergii cifrovizacii i biotekhnologii. /V.N. Surovcev. //Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. -2019. -№4. –S. 7-14.

6. Shevhuzhev, A.F. Vosproizvoditel'naya sposobnost' golshtinskogo skota otechestvennoj i zarubezhnoj selekcij. [Tekst]. /A.F. Shevhuzhev, A.A. Tumov. //Vestnik RGATU. - №1 (37). – 2018. – S.66-70.

7. Sistema tochnogo opredeleniya vremeni osemeneniya korovy i opredeleniya sostoyaniya zdorov'ya korovy HEATIME ot kompanii SCR (Izrail') https://agroserver.ru/b/sistema-tochnogo-opredeleniya-vremeni-osemeneniya-korovy-i-opre-595849.htm

Информация об авторах

Морозов Игорь Александрович, *аспирант кафедры технологии общественного питания и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», igor.mor@rgatu.ru*

Author Information

Morozov Igor A., *postgraduate student of the Department of Public Catering Technology and Agricultural Products Processing, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, igor.mor@rgatu.ru*

Статья поступила в редакцию 01.10.2024; одобрена после рецензирования 24.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 01.10.2024; approved after reviewing 24.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 42-47
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 42-47

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.082.25
DOI: 10.36508/RSATU.2024.44.60.007

ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГОЛШТИНСКИХ КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Фаррух Атауллахович Мусаев[1], Игорь Александрович Морозов[2] ✉

[1,2]ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] musaev@rgatu.ru
[2] igor.mor@rgatu.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Цель исследований – проведение анализа хозяйственно-биологических особенностей по воспроизводительным показателям черно-пестрых коров голштинской породы в зависимости от страны происхождения и принадлежности к линии. Опытные группы коров были сформированы по принципу аналогов с учетом возраста, живой массы, возрасту первого отела и страны происхождения – России и Венгрии. Коров венгерской селекции изучали с учетом линейной принадлежности – линии: Вис бек Айдиала и Рефлекшн Соверинга. В результате проведенных исследований было установлено, что лучшие показатели воспроизводительной функции имели коровы российской репродукции по сравнению с венгерской репродукцией. Анализ воспроизводительной функции коров венгерской селекции по линиям показал, что лучшие показатели оказались у животных линии Рефлекшн Соверинга.*
Методология. *Экспериментальные исследования проводили в одном из отделений ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Объектом исследований явились голштинские коровы черно-пестрой масти российской и венгерской селекции. Воспроизводительные функции – период до плодотворного осеменения, сухостойный и межотельный периоды, количество осеменений – анализировали по данным в программе «Селэкс – Молочный скот. Племенной учет». Молочную продуктивность учитывали по удою за 305 дней по первым трем лактациям и за три лактации в среднем.*
Результаты. *На основании результатов исследований установили, что на воспроизводительные особенности коров голштинской породы черно-пестрой масти оказывают влияние страна происхождения и генеалогическая принадлежность. Лучшие показатели воспроизводства были у голштинских коров российской репродукции, так как они были ближе к норме. Продолжительность периода от отела до плодотворного осеменения составила 118 дней, сухостойный период был в пределах нормы – 57 дней, межотельный период – 398 дней, кратность осеменения – 1,9 раза. Коэффициент плодовитости был выше и составил 0,92. Анализ воспроизводительной функции у коров венгерской репродукции показал, что по линии Рефлекшн Соверинга животные имели меньшую продолжительность трех периодов: от отела до плодотворного осеменения – 120 дней, от запуска до отела – 60 дней, период от одного отела до другого был в пределах 400 дней. Коэффициент, плодовитости (воспроизводительной способности) был лучшим – 0,91.*
Заключение. *Полученные результаты исследований будут использоваться в дальнейшей селекционной работе, что позволит повысить молочную продуктивность, выход телят и увеличить продолжительность хозяйственного использования коров. Разведение голштинских коров с учетом линейной принадлежности позволит наиболее эффективно использовать индивидуальные особенности животных. Дальнейшая работа должна проводиться в плане оценки быков линии Рефлекш-Соверинга, которые оказали положительное влияние на показатели воспроизводства у дочерей.*

Ключевые слова: *коровы голштинской породы, российская репродукция, венгерская репродукция, воспроизводительные особенности, линейная принадлежность*

Для цитирования: *Мусаев Ф.А., Морозов И.А. Воспроизводительные особенности голштинских коров в зависимости от происхождения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4. С.42-47 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.44.60.007*

© Мусаев Ф.А., Морозов И.А. 2024 г.

Original article

REPRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF HOLSTEIN COWS DEPENDING ON THEIR ORIGIN

Farrukh A. Musaev[1], Igor A. Morozov[2] ✉

[1,2] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1] musaev@rgatu.ru
[2] igor.mor@rgatu.ru

Annotation.
Problem and purpose. *The purpose of the research is to analyze the economic and biological characteristics of reproductive indicators of black–and-white Holstein cows, depending on the country of origin and belonging to the line. The experimental groups of cows were formed according to the principle of analogues, taking into account age, body weight, age of the first calving and the country of origin of Russia and Hungary. Cows of Hungarian breeding were studied taking into account the linear affiliation – lines: Vis bek Idial and Reflection Sovering. As a result of the conducted research, it was found that cows of Russian reproduction had the best indicators of reproductive function compared with Hungarian reproduction. An analysis of the reproductive function of Hungarian-bred cows by lines showed that the best indicators were found in animals of the Reflection Sovering line.*
Methodology. *Experimental studies were conducted in one of the branches of Avangard LLC in the Ryazan district of the Ryazan region. The object of research was Holstein cows of black and mottled color of Russian and Hungarian breeding. Reproductive functions: the period before fruitful insemination, dry and interbody periods, the number of inseminations was analyzed according to the data in the Selex – Dairy Cattle program. Tribal accounting". Milk productivity was taken into account by milk yield for 305 days for the first three lactation periods and for three lactation periods on average.*
Results. *Based on the research results, it was found that the reproductive characteristics of Holstein cows of the black-and-white color are influenced by the country of origin and genealogical affiliation. Holstein cows of Russian reproduction had the best reproduction rates, as they were closer to the norm. The duration of the period from calving to fruitful insemination was 118 days, the dry period was within the normal range - 57 days, the interbody period - 398 days, the frequency of insemination - 1.9 times. The fertility rate was higher and amounted to 0.92. The analysis of reproductive function in Hungarian reproduction cows showed that, according to the line of Reflection Sovering, the animals had a shorter duration of three periods: from calving to fruitful insemination – 120 days, from start to calving - 60 days, the period from one calving to another was within 400 days. The coefficient of fertility – reproductive ability was the best – 0.91.*
Conclusion. *The obtained research results will be used in further breeding work, which will increase milk productivity, yield of calves and increase the duration of economic use of cows. The breeding of Holstein cows, taking into account the linear affiliation, will allow the most effective use of the individual characteristics of the animals. Further work should be carried out in terms of evaluating the bulls of the line Reflection-Sovering, which had a positive effect on the reproduction rates of daughters.*

Key words: *Holstein cows, Russian reproduction, Hungarian reproduction, reproductive features, linear affiliation.*

For citation: *Musaev F.A., Morozov I.A. Reproductive characteristics of Holstein cows depending on their origin. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P.42-47 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.44.60.007*

Введение

Воспроизводство стада представляет собой сложную систему биологических процессов размножения и увеличения численности поголовья крупного рогатого скота. Когда речь идет об увеличении численности высокопродуктивного скота голштинской породы в условиях промышленной технологии с применением автоматизированных систем, это актуально вдвойне.

В последние годы в нашу страну племенной скот голштинской породы завозили из стран Европы, США, Канады, Венгрии, Голландии и т.д. В настоящее время стоит задача выявления хозяйственно-полезных свойств скота в зависимости от экогенеза (страны происхождения) и линейной принадлежности по показателям воспроизводства. Высокая экономическая эффективность ведения отрасли молочно¬го скотоводства в условиях промышленной технологии обеспечивается увеличением молочной продуктивности в сочетании с регулярными отелами коров. Своевременные отелы коров в стаде оп¬ределяют рентабельность молочных ферм и комплексов [1].

Показатели воспроизводства коров обусловлены генотипическими факторами: породой, породностью, линейной принадлежностью и качеством семени быков [3,4,5].

Проявление генетических факторов зависит от фенотипических факторов, прежде всего, от возраста первого плодотворного осеменения, системы содержания и условий кормления. Полноценное кормление оказывают положительное

влияние на поддержание упитанности, продуктивности и на своевременные половые циклы в период всей жизнедеятельности животных. Немаловажное значение имеет ветеринарное обслуживание, здоровье и физиологическое состояние животных [6,7,8].

Одним из основных показателей воспроизводства является показатель плодовитости маточного поголовья или коэффициент воспроизводительной способности. Он характеризует отношение 365 дней к межотельному периоду. В норме это отношение должно быть равно единице. Это означает, что от каждой коровы в течение года должен быть получен один теленок. Следовательно, межотельный период должен быть равен 365 дням. Однако межотельный период зависит от времени плодотворного зачатия, то есть от сервис-периода и продолжительности стельности. Коровы голштинской породы имеют высокую молочную продуктивность, что оказывает влияние на продолжительность сервис-периода [9].

Таким образом, хозяйственно-биологические особенности коров, особенно показатели воспроизводства стада, подвержены многим факторам, которые оказывают существенное влияние на молочную продуктивность, качество молока и в целом на рентабельность производства.

В связи с этим был проведен анализ показателей воспроизводства у коров разного экогенеза (российской и венгерской селекции), а у коров венгерской селекции еще и в зависимости от генеалогической принадлежности.

Материалы и методы исследований

Научно-производственный опыт проводили в племенном заводе по разведению голштинского скота в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Объектом исследований явились голштинские коровы черно-пестрой масти российской и венгерской селекции. Воспроизводительные функции – период до плодотворного осеменения, сухостойный и межотельный периоды, количество осеменений – анализировали по данным в программе «Селэкс – Молочный скот. Племенной учет». Молочную продуктивность учитывали по удою за 305 дней по первым трем лактациям и за три лактации в среднем. Коэффициент плодовитости или воспроизводительной способности КВС рассчитывали по формуле:

$$\text{КВС} = \frac{\mathbf{365}}{\text{МОП}}$$

где 365 – количество дней в году; МОП – межотельный период, количество дней от одного отела до другого.

Полученные результаты исследований были обработаны способом биометрической обработки в программе Excel. По критерию Стьюдента определяли достоверность разницы в изучаемых показателях.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований показали, что возраст первого отела у коров находился в пределах 23,5-24 месяцев. Это означает, что телочки были плодотворно осеменены в возрасте 14,5-15 месяцев. Возраст первого отела коров российской репродукции составил 23,5±0,11 месяца. Первый отел у коров венгерской репродукции проходил в 24±0,10 мес., с разницей две недели.

Сервис-период у коров представляет собой период от отела до плодотворного осеменения. В норме его продолжительность должна составлять от 30 до 90 дней, то есть плодотворное осеменение у коров должно наступать в первые три месяца после отела. Однако у коров голштинской породы он может быть более продолжительным по причине высокой молочной продуктивности [2,9,10].

Продолжительность сервис-периода по обеим селекциям в среднем за три лактации превышала норму (90 дней) и составляла 118-125 дней после отела (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели воспроизводства у коров разного экогенеза (российской и венгерской репродукции)

Лактация	n	Количество дней			Кратность осеменения, раз	Коэффициент воспроизводительной способности
		Сервис-период	Сухостойный период	Межотельный период		
Контрольная группа – Российская репродукция (n=840)						
Первая	396	123 ±11	-	403 ±5,9	1,7	0,91
Вторая	299	103±9,4	65±5,9	383±5,5	1,6	0,95
Третья	145	94+6,3	56+2,9	374+5,3	2,5	0,98
В среднем за три лактации	-	118±6,9	57±0,9	398±3,9	1,9	0,92
Опытная группа – Венгерская репродукция (n=506)						
Первая	309	123±6,30	-	403±5,5	2,5	0,91
Вторая	151	131±10,4	60,8±1,5	411±6,6	2,5	0,89
Третья	46	117±21,0	54,1±4,2	397±9,1	3,3	0,92

Проложение таблицы 1

В среднем за три лактации	-	125±6,09*	59,4±1,2	405±3,9*	2,8	0,90
±К контрольной группе в среднем за три лактации	±0,54	+7,0	±2,4	±7	±0,9	0,90

Примечание: результаты достоверны при: * – Р ≥0,95; ** – Р ≥0,99; *** – Р ≥0,999

У коров российской репродукции в среднем за три лактации сервис-период составил 118±6,9 дней, и оказался меньше на 7 суток в сравнении с этим показателем у коров венгерской репродукции при Р ≥0,95.

Сухостойный период у коров характеризует время от окончания лактации и до отела. Его продолжительность составляет от 45 до 75 дней. Во время сухостойного периода животным необходимо обеспечить интенсивное развитие плода и восстановить живую массу, израсходованную в процессе лактации. Продолжительность сухостойного периода в наших исследованиях была в пределах нормы: 57-59 дней, а у коров российской репродукции 57 дней, что на 2 дня короче по сравнению с животными венгерской репродукции.

Период от одного отела до другого называется межотельным или межотельным интервалом. В норме от одного отела до другого должно проходить 365-395 дней. Близким к норме межотельный период был у коров российской репродукции – 374-403 дня, а в среднем за три лактации составлял 398+3,9 дней и был на 7 дней короче, чем у коров венгерской репродукции.

Кратность осеменения у коров венгерской селекции составляла 2,8 раза, что на 0,9 раза превышала этот показатель у коров российской селекции.

Межотельный период оказывает прямое влияние на коэффициент воспроизводительной способности. Коэффициент воспроизводства характеризует плодовитость коров, чем короче межотельный период, тем больше этот показатель, а максимально он может быть равен единице. Это означает, что корова приносит приплод в течении 365 дней или 12 месяцев.

Более высокий коэффициент воспроизводительной способности – 0,92, с колебаниями по лактациям от 0,91 до 0,98, имели коровы российской репродукции.

При анализе показателей воспроизводства у голштинских коров венгерской репродукции в зависимости от линейной принадлежности было установлено, что лучшие показатели были у коров по линии Рефлекшн Соверинга (табл. 2).

Таблица 2 – Воспроизводительные особенности коров венгерской репродукции в зависимости от генеалогической принадлежности

Лактация	n	Количество дней			Кратность осеменения, раз	Коэффициент воспроизводительной способности
		Сервис-период	Сухостойный период	Межотельный период		
Линия Вис Бек Айдиала (n=287)						
Первая	92	125±12,6	-	405±8,0	2,2	0,90
Вторая	97	127±9,0	63,4±1,4	407±9,2	2,65	0,89
Третья	96	139±13,0	63,3±1,7	419±9,5	2,6	0,87
В среднем за три лактации	-	130±6,8*	63,3±0,8	410±5,6*	2,5	0,89
Линия Рефлекшн Соверинга (n=277)						
Первая	112	116±2,1	-	396±8,49	2,5	0,92
Вторая	111	124±15,6	60,9±2,8	404±7,9	2,4	0,90
Третья	54	118±12,0	59,9±1,5	398±8,9	2,7	0,92
В среднем за три лактации	-	120±7,8	60,4±1,5	400±4,9	2,5	0,91

Примечание: результаты достоверны при: * – Р ≥0,95; ** – Р ≥0,99; *** – Р ≥0,999

Периоды от отелов до плодотворных случек по первым трем лактациям у коров по этой линии находились в пределах от 116 и до 124 дней, а в среднем за три лактации – 120 дней. Интервал между отелами по лактациям колебался в пределах от 396 и до 404, в среднем – 400±4,9 дней.

Заключение

На основании результатов исследований мы установили, что на воспроизводительные особенности коров голштинской породы черно-пестрой масти оказывают влияние страна происхождения и генеалогическая принадлежность.

1.Лучшие показатели воспроизводства были у голштинских коров российской репродукции, так как они были ближе к норме. Время от отелов до плодотворных случек составляло 118 дней, интервал между отелами – 398 дней, коэффициент плодовитости – 0,92.

2. При анализе показателей воспроизводства у голштинских коров венгерской репродукции в зависимости от линейной принадлежности было установлено, что лучшие показатели были у коров по линии Рефлекшн Соверинга: сервис-период – 120 дней, сухостойный период – 60 дней, межотельный период – 400 дней и коэффициент воспроизводительной способности – 0,91.

3. Полученные результаты исследований будут использоваться в дальнейшей селекционной работе, что позволит повысить молочную продуктивность, выход телят и увеличить продолжительность хозяйственного использования коров. Разведение голштинских коров с учетом линейной принадлежности позволит наиболее эффективно использовать индивидуальные особенности животных. Дальнейшая работа должна быть направлена на использование быков линии Рефлекшн Соверинга, положительно влияющих на воспроизводительные функции дочерей.

Список источников

1. Кибкало, Л.И. Аспекты продуктивного долголетия чистопородных и помесных коров. /Л.И. Кибкало, Н. Жеребилов, Н. Анненкова, Л.Г. Галкина. // Молочное и мясное скотоводство. – 2005. - №2. – С. 24-25.

2. Косилов, В.И. Воспроизводительная функция чистопородных и помесных маток. /В.И. Косилов, С.И. Мироненко, Е.А. Никонова и др. //Известия Оренбургского ГАУ. – 2012. - №5 (37). –С. 83-85.

3.Морозова, Н.И. Молочная продуктивность и качество молока в зависимости от линейной принадлежности коров. /Н.И. Морозова, Ф.А. Мусаев. // Молочная промышленность. – 2007. - №7. – С.24.

4. Морозова, Н.И. Молочная продуктивность голштинских коров в условиях мега-фермы и реконструированного молочного комплекса [Текст] / Н. И. Морозова, Ф. А. Мусаев,С. Р. Подоль, М. А. Улькина // Зоотехния. – 2013. - № 9. – С. 20.

5. Морозова, Н.И. Сравнительная оценка молочной продуктивности коров черно-пестрой и голштинской пород в условиях мега-фермы [Текст] / Н И. Морозова, Ф. А. Мусаев, С. Р. Подоль, М. А. Улькина // Сыроделие и маслоделие. – 2013. - № 6. – С. 31-32.

6. Морозова, Н.И. Хозяйственно – биологические особенности коров голштинской породы венгерской селекции при круглогодовом стойловом содержании. [Текст.] /Туников Г.М., Морозова Н.И., Мусаев Ф.А., Лебедев В.И., Иванова Л.В. // (SCOPUSPrevieü) Date: 10 november 2018.(UAE) Eissn- 524x. Subiekt Acceptance Letter.

7. Мусаев, Ф.А. Технология производства молочных продуктов по стандартам России. [Текст]. Монография. /Мусаев, Фаррух Атауллахович. – Рязань. – РГАТУ. – 2009 . – 326 с.

8. Туников, Г.М. Современные тенденции производства молока в условиях интенсивной технологии. [Текст] /Туников Г.М., Морозова Н.И., Мусаев Ф.А., Морозова О.А., Коровушкин А.А. // Вестник. Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019.Т. №4 (44). С.70-75.

9. Шевхужев, А.Ф. Воспроизводительная способность голштинского скота отечественной и зарубежной селекций. Текст. /А.Ф. Шевхужев, А.А. Тумов, // Вестник РГАТУ, № 1 (37). - 2018. – С. 66-70.

10. Шишкина, Т.В., Никишова Н.В. Молочная продуктивность и продолжительность продуктивного использования голштинизированных коров черно-пестрой породы в зависимости от линейного происхождения. /Т.В. Шишкина, Н.В. Никишова. // Главный зоотехник. – 2028. - №5. – С.44-48.

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

References

1. Kibkalo, L.I. Aspekty produktivnogo dolgoletiya chistoporodnyh I pomesnyh korov. / L.I. Kibkalo, N. Zherebilov, N. Annnenkova, L.G. Galkina. // Molochnoei myasnoe skotovodstvo. – 2005. - №2. – S. 24-25.

2 .Kosilov, V.I. Vosproizvoditel'naya funkciya chistoporodnyh I pomesnyh matok. /V.I. Kosilov, S.I. Mironenko, E.A. Nikonovaidr. // Izvestiya Orenburgskogo GAU. – 2012. - №5 (37). –S. 83-85.

3. Morozova, N.I. Molochnaya produktivnost' I kachestvo moloka v zavisimosti ot linejnoj prinadlezhnosti korov. /N.I. Morozova, F.A. Musaev. // Molochnaya promyshlennost'. – 2007. - №7. – S.24.

4. Morozova, N.I. Molochnaya produktivnost' golshtinskih korov v usloviyah mega-fermy i rekonstruirovannogo molochnogo kompleksa [Tekst] /N. I. Morozova, F. A. Musaev,S. R. Podol', M. A. Ul'kina // Zootekhniya. – 2013. - № 9. – S. 20.

5. Morozova, N.I. Sravnitel'naya ocenka molochnoj produktivnosti korov cherno-pestroj i golshtinskoj porod v usloviyah mega-fermy [Tekst] / N I. Morozova, F. A. Musaev, S. R. Podol', M. A. Ul'kina // Syrodelie i maslodelie. – 2013. - № 6. – S. 31-32.

6. Morozova, N.I. Hozyajstvenno – biologicheskie osobennosti korov golshtinskoj porody vengerskoj selekcii

pri kruglogodovom stojlovom soderzhanii. [Tekst.] /Tunikov G.M., Morozova N.I., Musaev F.A., Lebedev V.I., Ivanova L.V. // (SCOPUSPrevieü) Date: 10 november 2018.(UAE) Eissn- 524x. Subiekt Acceptance Letter.

7. Musaev, F.A. Tekhnologiya proizvodstva molochnyh produktov po standartam Rossii. [Tekst]. Monografiya. /Musaev, Farruh Ataullahovich. – Ryazan'. – RGATU. – 2009 . – 326 s.

8. Tunikov, G.M. Sovremennye tendencii proizvodstva moloka v usloviyah intensivnoj tekhnologii. [Tekst] /Tunikov G.M., Morozova N.I., Musaev F.A., Morozova O.A., Korovushkin A.A. // Vestnik. Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2019. T. №4 (44). S.70-75.

9. Shevhuzhev, A.F. Vosproizvoditel'naya sposobnost' golshtinskogo skota otechestvennoj i zarubezhnoj selekcij. Tekst. /A.F. Shevhuzhev, A.A. Tumov // Vestnik RGATU, № 1 (37). - 2018. – S. 66-70.

10. Shishkina, T.V., Nikishova N.V. Molochnaya produktivnost' i prodolzhitel'nost' produktivnogo ispol'zovaniya golshtinizirovannyh korov cherno-pestroj porody v zavisimosti ot linejnogo proiskhozhdeniya. /T.V. Shishkina, N.V. Nikishova. // Glavnyj zootekhnik. – 2028. - №5. – S.44-48.

Информация об авторах

Мусаев Фаррух Атауллахович, *д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии общественного питания и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Рязань, Россия, musaev@rgatu.ru*

Морозов Игорь Александрович, *аспирант кафедры технологии общественного питания и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Рязань, Россия, igor.mor@rgatu.ru*

Author Information

Musaev Farrukh A., *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Public Catering Technology and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, musaev@rgatu.ru*

Morozov Igor A., *Postgraduate Student of the Department of Public Catering Technology and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, igor.mor@rgatu.ru*

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 08.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 48-54
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.48-54

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 637.523
DOI: 10.36508/RSATU.2024.18.83.008

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЯСНЫХ ХЛЕБОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНТИОКСИДАНТА ЛИКОПИН

Олег Юрьевич Петров[1]✉, Надежда Николаевна Кузьмина[2], Фаррух Атауллахович Мусаев[3], Ксения Александровна Созонова[4], Сергей Степанович Козак[5]

[1,2,4] ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия
[5]«Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности» — филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН (ВНИИПП), Московская обл., Россия

[1] tmspetrov@yandex.ru
[2]kuzmina221995@mail.ru
[3] musaev@rgatu.ru
[4] kseniasozonova15@mail.ru
[5] vniippkozak@gmail.com

Аннотация.
Проблема и цель. *Государственная стратегия в сфере обеспечения населения продуктами питания в России ориентирована на создание и развитие выпуска продукции, которая не только вкусна и питательна, но также благоприятно воздействует на здоровье. Исследование направлено на анализ результативности использования ликопина в качестве антиоксиданта при производстве мясного хлеба с функциональными свойствами, предназначенного для поддержания здоровья.*
Методология. *В рамках исследования были использованы мясные хлеба, изготовленные из крольчатины и индейки в качестве основных ингредиентов. Контрольные образцы были созданы в соответствии с техническими условиями, а экспериментальные варианты изготовлены с добавлением природного антиоксиданта ликопина в дозах: 50, 100 и 200 процентов от суточной нормы потребления, и все образцы были подвергнуты оценке их качественных показателей и потребительских свойств.*
Результаты. *Полученные результаты свидетельствуют, что применение антиоксиданта ликопина в технологии мясных хлебов не оказывает существенного влияния на химический состав и на значение pH опытных образцов. Отмечено, что антиоксидант подавляет деятельность микрофлоры как в сырье, так и в готовом продукте. Изменение перекисного числа через 7 суток хранения свидетельствует об ингибирующем действии антиоксиданта на процессы окисления липидов сырья и готового продукта. Дегустационная оценка показала, что продукты опытных вариантов I и II значительно превосходили контрольный образец по всем показателям, что характеризует положительное влияние этих дозировок ликопина на потребительские свойства продукта, а добавление функционального ингредиента в количестве 13,00 мг на 100 г сырья уже ухудшает его органолептические показатели.*
Заключение. *Исследование показало, что изготовленные продукты в целом соответствовали требованиям для таких изделий, а наиболее удачными, по комплексу показателей, оказались опытные варианты I и II.*

Ключевые слова: *мясные продукты, рецептура, индюшиное мясо, крольчатина, антиоксидант ликопин, функциональный ингредиент, функциональный продукт*

Для цитирования: *Петров О.Ю., Кузьмина Н.Н., Мусаев Ф.А., Созонова К.А., Козак С.С. Оценка функциональных мясных хлебов с использованием антиоксиданта ликопин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024. Т.16, №4. С.48-54 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.18.83.008*

© Петров О.Ю., Кузьмина Н.Н., Мусаев Ф.А., Созонова К.А., Козак С.С., 2024 г.

Original article

ASSESSMENT OF FUNCTIONAL MEAT LOAVES USING THE ANTIOXIDANT LYCOPENE

Oleg Yu. Petrov[1] ✉, Nadezhda N. Kuzmina[2], Farruh A. Musaev[3], Kseniya A. Sozonova[4], Sergey S. Kozak[5]

[1, 2, 4] Mari state University, Yoshkar-Ola, Russia
[3] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[5] All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry" — the branch of FSC ARRTPI RAS (ARSRIPPI), Moscow region, Russia

[1]tmspetrov@yandex.ru
[2]kuzmina221995@mail.ru
[3]musaev@rgatu.ru
[4]kseniasozonova15@mail.ru
[5]vniippkozak@gmail.com

Abstract.
Problem and purpose. *The state strategy in the sphere of providing the population with food products in Russia is focused on creation and development of products being not only tasty and nutritious, but having a beneficial effect on health. The study was aimed at analyzing the effectiveness of using lycopene as an antioxidant in the production of meat loaf with functional properties, designed to maintain health.* **Methodology.** *The study used meat loaves made from rabbit and turkey as the main ingredients. Control samples were created in accordance with technical specifications, and experimental options were made with the addition of the natural antioxidant lycopene in doses of 50, 100 and 200 percent of the daily intake, and all samples were subjected to an assessment of their quality indicators and consumer properties.* **Results.** *The obtained results indicated that the use of the antioxidant lycopene in the technology of meat loaves did not have any significant effect on the chemical composition and pH value of test samples. It was noted that the antioxidant suppressed the activity of microflora both in raw materials and in the finished product. The change in the peroxide value after 7 days of storage indicated an inhibitory effect of the antioxidant on the oxidation processes of lipids in raw materials and the finished product. Tasting evaluation showed that the products of experimental options I and II significantly exceeded the control sample in all indicators, which characterized the positive effect of these dosages of lycopene on the consumer properties of the product, and the addition of a functional ingredient in the amount of 13.00 mg per 100 g of raw materials already worsened its organoleptic indicators.*
Conclusion. *The study showed that the manufactured products generally met the requirements for such products, and the most successful, according to a set of indicators, were experimental options I and II.*

Key words: *meat products, recipe, turkey meat, rabbit meat, antioxidant lycopene, functional ingredient, functional product.*
For citation: *Petrov O.Yu., Kuzmina N.N., Musaev F.A., Sozonova K.A., Kozak S.S. Assessment of functional meat loaves using the antioxidant lycopene // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024. Vol. 16, No. 4. P.48-54 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.18.83.008*

Введение

Питание играет решающую роль в жизни, определяя здоровье, продолжительность жизни и работоспособность человека. Одним из ключевых источников необходимых белков являются мясо и мясные продукты. Специалисты подчеркивают, что в дневном рационе человека должно быть не менее половины белков, полученных от животных, так как они содержат незаменимые аминокислоты и важные жирные кислоты [11].

В наше время в России сложились благоприятные условия для развития кролиководства, что открывает возможности для производства диетического мяса. Мясо кролика обладает богатым витаминным составом, что делает его особенно ценным для активных людей и тех, кто нуждается в питании с высоким содержанием белка и микроэлементов. Этот продукт считается одним из самых здоровых видов мяса благодаря низкому содержанию жира и холестерина, что делает его легко усваиваемым. Диетологи активно рекомендуют включать мясо кролика в рацион для пациентов с заболеваниями желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, печени, желчных путей и при аллергических реакциях [15].

Российское производство мяса птицы демонстрирует впечатляющий рост, привлекая инвесторов и соответствуя возрастающему интересу потребителей. Индюшиное мясо отличается своей низкой калорийностью и содержанием ω-3, ω-6 и ω-9 жирных кислот, а также аминокислот, включая α-аминокислоту триптофан, которая критически важна для синтеза мелатонина и серотонина – нейромедиаторов, способствующих улучшению настроения, состояния здоровья и когнитивных функций [5, 10].

Сегодня создание инновационных продуктов питания невозможно без применения пищевых

добавок, которые усиливают их питательную ценность, обеспечивают долгосрочную сохранность, улучшают вкусовые и ароматические качества, а также способствуют сохранению потребительских характеристик и повышению их лечебных и диетических качеств [6]. При разработке функциональных продуктов критически важно сохранить структуру и органолептические свойства исходного продукта [12]. Использование только высококачественного сырья является ключевым условием в процессе производства [13].

В предстоящем будущем ожидается увеличение спроса на продукцию с инновационными характеристиками, а также на мясные изделия, обогащенные полезными веществами, которые станут особенно востребованы у потребителей, выбирающих здоровый образ жизни. Введение антиоксиданта ликопина в состав мясных продуктов придаст им дополнительные диетические и функциональные преимущества.

Рынок в ближайшие годы ожидает появление нестандартных продуктов, выделяющихся уникальностью рецептуры, передовыми производственными технологиями и комплексом целевых полезных свойств [7].

В производстве мясных продуктов использование антиоксиданта ликопина в изделиях из мяса кролика и индейки способствует увеличению пищевой ценности и приданию продуктам диетических и функциональных характеристик [8].

Ликопин представляет собой натуральный каротиноидный пигмент, который выделяется среди других каротиноидов своей высокой эффективностью [9]. Внесение ликопина в состав продукции обеспечивает защиту клеток организма от разрушительного влияния свободных радикалов, что играет важную роль в профилактике некоторых форм рака. Этот антиоксидант препятствует окислению холестерина, тем самым предохраняя от атеросклероза, а также улучшает процессы пищеварения, регулирует аппетит, подавляет патогенную микрофлору в кишечнике и способствует уменьшению веса. Кроме того, ликопин способствует улучшению внешнего вида кожи лица, укрепляя стенки сосудов и капилляров, используется в лечебно-профилактических целях при различных заболеваниях печени [16, 17].

Производство таких продуктов помогает быстро реагировать на потребности потребителей, расширяет спектр выбора товаров и адаптирует его под разные категории покупателей [8].

Материалы и методы исследования

Исследования были направлены на анализ мясных продуктов, изготовленных по выбранному рецепту (табл. 1), где в качестве основного сырья использованы крольчатина и индюшиное мясо [3].

Таблица 1 – Рецептуры мясных хлебов

Наименование сырья	Контроль	Вариант I	Вариант II	Вариант III
Основное сырье, кг на 100 кг				
Филе бедра индейки	45	45	45	45
Филе кролика	40	40	40	40
Лук репчатый	5	5	5	5
Яйца куриные	2	2	2	2
Болгарский перец красный	4	4	4	4
Сливки 10%	4	4	4	4
Вода	15	15	15	15
Пряности и материалы, кг на 100 кг основного сырья				
Ликопин	-	0,00325	0,0065	0,0130
Соль пищевая поваренная	0,8	0,8	0,8	0,8
Перец черный молотый	0,2	0,2	0,2	0,2

Контроль соответствовал ТУ 9213-023-37676459 «Хлебы мясные» [14], модельные варианты фаршей отличались содержанием в рецептуре антиоксиданта ликопина. Образец первого опытного варианта в 100 г сырья содержал 3,25 мг функционального компонента в виде масляного раствора, что соответствует 50 % суточной физиологической потребности в антиоксиданте, второй вариант – 6,5 мг, что соответствует суточной потребности организма в этом веществе, и третий – 13,0 мг, или превышающую в два раза потребность в антиоксиданте.

Результаты исследований и их обсуждение

Комплексные исследования включали оценку влияния антиоксиданта ликопина на химический состав контрольного и опытных образцов фаршей (табл. 2).

Таблица 2 – Массовая доля основных пищевых веществ в модельных образцах, % (n=3)

Показатели	Массовая доля влаги	Массовая доля белка	Массовая доля жира	Массовая доля золы
Контроль	66,802 ± 3,54	24,80 ± 2,13	5,90±0,11	3,50±0,08
Вариант I	65,30 ± 2,75	24,90 ± 1,95	6,30±0,008	3,50±0,03
Вариант II	64,80 ± 2,94	25,00 ± 0,88	6,65±0,27	3,55±0,07
Вариант III	64,10± 1,87	25,40 ± 1,,13	6,90±0,14	3,60±0,04

Полученные результаты позволили установить, что добавление антиоксиданта в состав рецептур опытных образцов мясных хлебов предсказуемо не отразилось на их химическом составе. Содержание основных пищевых веществ в продуктах соответствовало национальному стандарту ГОСТ Р 52196–2003 [4], и находилось в пределах нормы. Введение масляного раствора ликопина в опытные образцы модельных фаршей незначительно повлияло на увеличение массовой доли жира в них.

Сырьевой состав продуктов и использование пищевых добавок влияет на значение pH – показатель активной кислотности (табл. 3), влияющий на функционально-технологические свойства, жизнедеятельность микроорганизмов и активность ферментов.

Таблица 3 – Показатели активной кислотности фаршей (n=3)

Наименование сырья	Контроль	Вариант I	Вариант I I	Вариант I I I
Концентрация водородных ионов	5,76±0,12	5,74±0,06	5,73±0,09	5,72±0,08

Использование антиоксидантного вещества вызвало уменьшение значения pH. Влияние ликопина, тем не менее, оказалось незначимым и статистически не достоверным.

Отсутствие существенного влияния изучаемого функционального ингредиента на изученные показатели свидетельствует о том, что его добавление не снижает характеристики продукта, взятого за основу.

Согласно требованиям безопасности и пищевой ценности продуктов обязателен микробиологический контроль количества факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (табл. 4).

Таблица 4 – Микробиологические показатели фаршей и продуктов, КОЕ/см^3 (n=3)

Показатели	Допустимый уровень, не более	Контроль	Вариант I	Вариант I I	Вариант I I I
КМАФАнМ фарша	$5x10^6$	$9x10^5$	$8x10^5$	$5x10^5$	$3,5x10^5$
КМАФАнМ готового продукта	$1x10^3$	$0,6x10^3$	$0,3x10^3$	$9,3x10^2$	$58,2x10^2$

При этом отмечено, что антиоксидант, безусловно, подавляет деятельность микроорганизмов как в образцах фаршей, так и в мясных хлебах, даже после их термической обработки. Очевидно просматривается тенденция, отражающая ингибирующее действие антиоксиданта на микрофлору, в зависимости от его количества, введенного в состав модельных фаршей.

Функциональный ингредиент ликопин, являясь природным антиоксидантом, оказал эффективное влияние на торможение процессов окисления липидной фракции опытных образцов (табл. 5).

Таблица 5 демонстрирует изменение уровня перекисного числа в ходе хранения продукта, выраженного в ммоль ($^1/_2O_2$) на килограмм.

Таблица 5 – Динамика перекисного числа при хранении продукта, ммоль ($^1/_2O_2$)/кг (n=3)

Варианты	Перекисное число	
	Референтные значения	Через 7 суток хранения
Контроль	0,01-1	1,1±0,13
Вариант I	0,01-1	0,9±0,14
Вариант II	0,01-1	0,9±0,17
Вариант III	0,01-1	0,8±0,11

Наблюдение за состоянием образцов в течение семи дней при температуре 3±1° С показало, что уровень перекисного числа в экспериментальных сериях I-III был на 0,2-0,3 ммоль ($^1/_2O_2$)/кг ниже, чем в контроле. Было также подтверждено, что уменьшение образования окисленных липидов в

мясных изделиях связано с дозировкой ликопина в их составе.

Сенсорные качества мясных продуктов являются ключевыми для их потребительской привлекательности. В процессе разработки функциональных продуктов вводимые компоненты не должны ухудшать качество исходного продукта (табл. 6).

Таблица 6 – Результаты органолептической оценки экспериментальных продуктов, баллы (n=3)

Наименование показателей	Контроль		Вариант I		Вариант I I		Вариант I I I	
	M±m	σ	M±m	σ	M±m	σ	M±m	σ
Внешний вид	4,33±0,23	0,78	4,83±0,17	0,51	4,58±0,16	0,58	4,42±0,15	0,51
Цвет	4,33±0,23	0,00	4,92±0,24	0,00	4,58±0,20	0,00	4,58±0,20	0,58
Запах	4,50±0,16	0,00	4,58±0,16	0,58	4,58±0,16	0,58	4,67±0,18	0,58
Консистенция	4,42±0,27	0,00	4,50±0,24	0,56	4,42±0,20	0,00	3,83±0,26	1,00
Вкус	4,08±0,24	0,79	4,42±0,20	0,52	4,55±0,27	0,67	4,58±0,16	0,51
Сочность	3,75±0,23	0,00	4,50±0,17	0,58	4,17±0,16	0,00	4,83±0,11	0,58
Общая оценка	4,21±0,15	0,23	4,56±0,14	0,23	4,52±0,14	0,26	4,42±0,14	0,29

Исследования, проведенные в рамках дегустационного тестирования, подтвердили, что испытываемые образцы мясных хлебов первого и второго вариантов значительно превосходят исходный образец по всем критериям качества. В то же время включение функционального компонента в количестве 13,00 мг на 100 г сырья привело к ухудшению органолептических качеств продукта.

По результатам комплексного анализа было установлено, что готовые изделия в целом соответствуют стандартам, принятым для подобных продуктов. Особо выделяются экспериментальные образцы, содержащие ликопин на физиологически значимом уровне – 3,25 и 6,50 мг на 100 г сырья. Такие концентрации ликопина способствовали улучшению качественных характеристик продукта, взятого за основу.

Список источников

1. Волкова, О.В. Разработка и товароведная характеристика продуктов из мяса кролика: специальность 05.18.15 Товароведение пищевых продуктов и технология продуктов общественного питания : автореферат дис. ... кандидата технических наук / Волкова Ольга Васильевна ; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2009. – 19 с.

2. ГОСТ 7747-2016 Мясо кроликов (тушки кроликов, кроликов-бройлеров и их части). Технические условия : национальный стандарт Российской федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 июля 2016 г. N 89-П ст дата введения .2018-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 12 с.

3. ГОСТ Р 31473 -2012 Мясо индеек (тушки и их части). Общие технические условия : национальный стандарт Российской федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2012 г. N 939-ст : дата введения 2013-01-07.. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 10 с.

4. ГОСТ Р 52196-2003 Изделия колбасные вареные. Технические условия национальный стандарт Российской федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2003 г. N 427-стдата введения 2005-01-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200036153

5. Зимняков, В. М. Состояние и перспективы производства и переработки мяса индейки : монография / В. М. Зимняков ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ. – Пенза : РИО ПГАУ, 2017. – 183 с.

6. Зинина, О. В. Определение качественных показателей полуфабрикатов мясных рубленых функциональной направленности / О. В. Зинина, Е. В. Гаврилова, К. С. Рязанова // Молодой ученый. – 2014. – № 8 (67). – С. 179-182. – URL: https://moluch.ru/archive/67/11457/ (дата обращения: 25.04.2024).

7. Кузьмина, Н. Н. Применение антиоксиданта нового поколения в технологии мясных продуктов / Н. Н. Кузьмина // Наука сегодня: теория, практика, инновации. XX III Международная научно-практическая конференция. – Москва : Олимп. – 2017. – С. 109-112.

8. Ликопин – это один из наиболее сильных каротиноидов-антиоксидантов // Aogor.ru : [сайт]. – URL: https://www.aogor.ru/likopin-eto-odin-iz-naibolee-silnyh-karotinoidov-antioksidantov-chto/

9. Ликопин // Yandex.ru : [сайт]. – URL: https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Filive. com.ua%2Fsports%2Flikopin_112655i15828.html/

10. Мясо индейки – состав, калорийность, польза и вред для организма // Cross.expert : [сайт]. – URL: https://cross.expert/zdorovoe-pitanie/produkty-pitaniya/indejka.html (дата обращения: 25.04.2024).

11. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года : распоряже-

ние Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. N 1873-р // Правительство Российской Федерации : официальный сайт. – Москва. – обновляется в течении суток. – URL: http://government.ru/docs/all/74477/

12. Петров, О. Ю. К вопросу о создании мясных продуктов для лечебно-профилактического питания / О. Ю. Петров // Вестник Марийского государственного университета. – 2007. – № 1(2). – С. 80-82.

13. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013). – РосТест, 2013. – 108 с.

14. ТУ 9213-381-37676459-2015 Изделия колбасный, мясные и мясосодержащие из мяса птицы «Хлебы мясные» : технические условия : дата введения 2015 г. // Научно-производственный центр Агропищепром :[сайт]. – URL: http://agropit.ru/хлебы-мясные-2/

15. Чем полезно мясо кролика // Роскачество. Портал умного потребителя : [сайт]. – URL: https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/chem-polezno-myaso-krolika/ html

16. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing // Researchgate.ne : [сайт]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/12139087 _Lycopene_in_Tomatoes_Chemical_and_Physical_Properties_Affected_by_Food_Processing

17. Sams A. R. Poultry Meat Processing / A. R. Sams. - CRC Press, 2001. – 345 p.

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

References

1. Volkova, O.V. Razrabotka i tovarovednaya xarakteristika produktov iz myasa krolika: special`nost` 05.18.15 Tovarovedenie pishhevy`x produktov i texnologiya produktov obshhestvennogo pitaniya: avtoreferat dis. ... kandidata texnicheskix nauk / Volkova Ol`ga Vasil`evna ; Kemerovskij texnologicheskij institut pishhevoj promy`shlennosti. – Kemerovo, 2009. – 19 s.

2. GOST 7747-2016 Myaso krolikov (tushki krolikov, krolikov-brojlerov i ix chasti). Texnicheskie usloviya : nacional`ny`j standart Rossijskoj federacii : izdanie oficial`noe : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal`nogo agentstva po texnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 27 iyulya 2016 g. N 89-P st data vvedeniya .2018-01-01. – Moskva : Standartinform, 2016. – 12 s.

3. GOST R 31473 -2012 Myaso indeek (tushki i ix chasti). Obshhie texnicheskie usloviya : nacional`ny`j standart Rossijskoj federacii : izdanie oficial`noe : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal`nogo agentstva po texnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 19 noyabrya 2012 g. N 939-st : data vvedeniya 2013-01-07.. – Moskva : Standartinform, 2013. – 10 s.

4. GOST R 52196-2003 Izdeliya kolbasny`e vareny`e. Texnicheskie usloviya nacional`ny`j standart Rossijskoj federacii : izdanie oficial`noe : utverzhden i vveden v dejstvie Prikazom Federal`nogo agentstva po texnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 dekabrya 2003 g. N 427-stdata vvedeniya 2005-01-01 // E`lektronny`j fond pravovy`x i normativno-texnicheskix dokumentov : [sajt]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200036153

5. Zimnyakov, V. M. Sostoyanie i perspektivy` proizvodstva i pererabotki myasa indejki : monografiya / V. M. Zimnyakov ; Ministerstvo sel`skogo xozyajstva Rossijskoj Federacii, FGBOU VO Penzenskij GAU. – Penza : RIO PGAU, 2017. – 183 s.

6. Zinina, O. V. Opredelenie kachestvenny`x pokazatelej polufabrikatov myasny`x rubleny`x funkcional`noj napravlennosti / O. V. Zinina, E. V. Gavrilova, K. S. Ryazanova // Molodoj ucheny`j. – 2014. – № 8 (67). – S. 179-182. – URL: https://moluch.ru/archive/67/11457/

7. Kuz`mina, N. N. Primenenie antioksidanta novogo pokoleniya v texnologii myasny`x produktov / N. N. Kuz`mina // Nauka segodnya: teoriya, praktika, innovacii. XX III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. – Moskva : Olimp. – 2017. – S. 109-112.

8. Likopin – e`to odin iz naibolee sil`ny`x karotinoidov-antioksidantov // Aogor.ru : [sajt]. – URL: https://www.aogor.ru/likopin-eto-odin-iz-naibolee-silnyh-karotinoidov-antioksidantov-chto/

9. Likopin // Yandex.ru : [sajt]. – URL: https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Filive.com. ua%2Fsports%2Flikopin_112655i15828.html/

10. Myaso indejki – sostav, kalorijnost`, pol`za i vred dlya organizma // Cross.expert : [sajt]. – URL: https://cross.expert/zdorovoe-pitanie/produkty-pitaniya/indejka.html

11. Osnovy` gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya na period do 2020 goda : rasporyazhenie Pravitel`stva Rossijskoj Federacii ot 25 oktyabrya 2010 g. N 1873-r // Pravitel`stvo Rossijskoj Federacii : oficial`ny`j sajt. – Moskva. – obnovlyaetsya v techenii sutok. – URL: http://government.ru/docs/all/74477/

12. Petrov, O. Yu. K voprosu o sozdanii myasny`x produktov dlya lechebno-profilakticheskogo pitaniya / O. Yu. Petrov // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2007. – № 1(2). – S. 80-82.

13. Texnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti myasa i myasnoj produkcii» (TR TS 034/2013). – RosTest, 2013. – 108 s.

14. TU 9213-381-37676459-2015 Izdeliya kolbasny`j, myasny`e i myasosoderzhashhie iz myasa ptic y

«Xleby` myasny`e» : texnicheskie usloviya : data vvedeniya 2015 g. // Nauchno proizvodstvenny`j centr Agropishheprom :[sajt]. – URL: http://agropit.ru/xleby`-myasny`e-2/

15. Chem polezno myaso krolika // Roskachestvo. Portal umnogo potrebitelya : [sajt]. – URL: https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/chem-polezno-myaso-krolika/ html (data obrashheniya: 25.04.2024).

16. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing // Researchgate.ne : [sajt]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/12139087_ Lycopene_in_Tomatoes_Chemical_and_Physical_Properties_Affected_by_Food_Processing

17. Sams A. R. Poultry Meat Processing / A. R. Sams. - CRC Press, 2001. – 345 p.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Петров Олег Юрьевич, *д-р с.-х наук, профессор кафедры технологии мясных и молочных продуктов, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», tmspetrov@yandex.ru*

Кузьмина Надежда Николаевна, *канд. с.-х наук, доцент кафедры технологии мясных и молочных продуктов, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», kuzmina221995@mail.ru*

Мусаев Фаррух Атауллахович, *д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии общественного питания и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Рязань, Россия, musaev@rgatu.ru* ***Созонова Ксения Александровна,*** *студентка Аграрно-технологического института, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», kseniasozonova15@mail.ru*

Козак Сергей Степанович, *д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель ИЛЦ, «Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности» – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН (ВНИИПП), vniippkozak@gmail.com*

Author Information

Petrov Oleg Yu., *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of meat and dairy products technology, Mari state University, tmspetrov@yandex.ru*

Kuzmina Nadezhda N., *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of meat and dairy products technology, Mari state University, kuzmina221995@mail.ru*

Musaev Farrukh A., *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Public Catering Technology and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, musaev@rgatu.ru*

Sozonova Kseniya A., *student of the Agrarian and Technological Institute, Mari state University, kseniasozonova15@mail.ru*

Kozak Sergey S., *Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the ILC, All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry" — the branch of FSC ARRTPI RAS (ARSRIPPI), vniippkozak@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 12.09.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 12.09.2024; approved after reviewing 11.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, № 4, с. 55-59
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, № 4, pp 55-59

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.034:636.224.3(043.3)
DOI: 10.36508/RSATU.2024.69.20.009

ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДЖЕРСЕЙСКИХ КОРОВ РАЗНЫХ ЛИНИЙ

Диана Эмериховна Юхина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г.Рязань, Россия

lady_diana1@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *В современном скотоводстве исследование репродуктивных способностей животных приобретает важное значение как с научной, так и с практической точки зрения. Это обусловлено тем фактом, что любые проблемы с репродуктивной функцией у коров приводят к уменьшению их молочной продуктивности и укорачиванию срока их эксплуатации в хозяйстве. Цель наших исследований – оценка воспроизводительных показателей коров джерсейской породы разных линий. Объектом для выполнения исследований служили коровы разных линий джерсейской породы в ООО «Авангард» Рязанской области.*
Методология. *Проведен анализ различных аспектов репродуктивной функции исследуемых животных, таких как межотельный период, продолжительность лактации и другие. Исследование включало изучение джерсейских коров, разделённых на три группы по 15 особей каждая. Такие показатели как индекс плодовитости (ИП) и коэффициент воспроизводительной способности коров (КВС) определяли расчетным способом по стандартным формулам.*
Результаты. *Было установлено, что принадлежность коров к той или иной генеалогической линии оказывает влияние на воспроизводительные функции животных. В опыте выход телят составил 100 %. За три месяца было отмечено увеличение веса телят на 243 %, 241 % и 242 % для линий Секрет Сигнал Обсервер 553236, Гленморс 157911 и Адвангер Слиптнг Тестер соответственно. В проведенном исследовании наивысший уровень плодовитости наблюдался в первой группе.*
Заключение. *Исследования, направленные на анализ репродуктивных характеристик джерсейских коров с учетом их линейной принадлежности, выявили наличие различий между линиями по показателям воспроизводства. Определили, что лидирующее положение из трех групп занимает I-я группа – линия Секрет Сигнал Обсервер.*

Ключевые слова: *джерсейская порода, воспроизводство, линейная принадлежность, сервис-период, индекс плодовитости*

Для цитирования: *Юхина Д.Э. Воспроизводительная способность джерсейских коров разных линий // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4, С.55-59 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.69.20.009*

Original article

REPRODUCTIVE ABILITY OF JERSEY COWS OF DIFFERENT LINES

Diana E. Yukhina

Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

lady_diana1@mail.ru

Abstract.
Problem and purpose. *In modern cattle breeding, the study of the reproductive abilities of animals is of great importance both from a scientific and practical point of view. This is due to the fact that any problems with the reproductive function of cows lead to a decrease in their milk productivity and shortening of their service life on the farm. The purpose of our research was to evaluate the reproductive indicators of Jersey cows of different lines. The object of the research was cows of different lines of Jersey breed in Avangard LLC in Ryazan region.*

© Юхина Д.Э., 2024 г.

Methodology. *An analysis of various aspects of the reproductive function of animals under study was carried out, such as the intercalving period, lactation duration, and others. The research included a study of Jersey cows divided into three groups of 15 individuals each. Such indicators as the fertility index (FI) and the coefficient of reproductive ability of cows (CRC) were determined by calculation using standard formulas.*
Results. It *was found that the cows' lineage influences the animals' reproductive functions. In the experiment, the calf yield was 100%. Over three months, calf weight increased by 243%, 241%, and 242% for Secret Signal Observer 553236, Glenmores 157911, and Advance Sleeping Tester lines, respectively. In the study, the highest fertility level was observed in the first group.*
Conclusion. *Studies aimed at analyzing the reproductive abilities of Jersey cows, taking into account their lineage, revealed differences between the lines in terms of reproductive performance. It was revealed that the leading position of the three groups was occupied by Group I - Secret Signal Observer line.*

Key words: *Jersey breed, reproduction, lineage, service period, fertility index*

For citation: *Yukhina D.E. Reproductive ability of Jersey cows of different lines // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No 4, P. 55-59 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.69.20.009*

Введение

В процессе развития отрасли животноводства, особенно в сфере молочного животноводства, применяется комплекс мер, направленных на улучшение популяции скота. Эти меры охватывают широкий спектр действий и включают в себя критический анализ и выбор подходящих животных для дальнейшего разведения с целью повышения производительности и улучшения качества молока. Ключевым аспектом является разведение молодняка с учетом современных требований и методов, а также применение инновационных подходов для повышения репродуктивного потенциала коров. Эффективность всей системы оценивается по определенным экономическим и продуктивным характеристикам скота, на основании которых осуществляется стратегическая селекция в отрасли [1, 7].

Джерсейская порода крупного рогатого скота выделяется среди остальных благодаря своей способности к быстрой адаптации и акклиматизации в Центральной зоне России, а также из-за выдающейся жирности молока, что вызвало повышенный интерес к ней [3, 4].

Исследования направлены на улучшение молочной продуктивности джерсейского скота через внедрение стратегии, основанной на тщательном подборе генеалогической структуры стада и активном использовании потомства от высокопродуктивных быков определенной линии.

В процессе проведения искусственного осеменения животных ключевую роль играют несколько факторов: своевременное определение периода половой активности у коров, наличие должным образом оснащенного пространства для осеменения, использование спермы высокого качества, а также строгое придерживание определенных стандартов [5]. В ООО "Авангард" обустроен специализированный сектор внутри коровника для процедур искусственного осеменения, соответствующий всем необходимым стандартам зоотехники и ветеринарии.

Материалы и методы исследований

В исследовании использовались сведения, полученные из карточек племенного учета коров в ООО «Авангард» Рязанской области. Целью проекта было изучение репродуктивных особенностей коров джерсейской породы, принадлежащих к разным генетическим линиям. В рамках нашего научного проекта мы анализировали репродуктивные характеристики коров из различных линий джерсейской породы. Исходя из условий эксперимента, было создано три группы по 15 особей каждая, отобранных с учетом их возраста, физиологического состояния и единообразия в питании. В качестве основного инструмента для оценки репродуктивных качеств животных использовались данные племенного регистра в программе «Селэкс», дополненные результатами наших наблюдений. При этом применяемая методология соответствовала установленным стандартам исследований в данной области.

Результаты исследований

Воспроизводительную способность коров определяли через различные параметры: продолжительность времени между осеменениями, период до следующего оплодотворения, интервал между отелами. У коров из трех различных групп стельность длилась между 280 и 285 днями.

Важность сервис-периода в контексте репродуктивного здоровья животных не может быть недооценена, поскольку он существенно влияет на продолжительность периода лактации, время, когда животное находится в состоянии сухостоя, и на общую продуктивность [2]. У джерсейских коров средняя продолжительность этого периода составила 92 дня. Основным показателем, определяющим успешность периода стельности и отела, является здоровье новорожденных телят. В данном опыте все телята родились здоровыми, показывая 100 % выход, тогда как в среднем по хозяйству этот показатель составляет только 60 % [8].

Изучение данных диаграммы показало минимальные физиологические различия между трёмя группами коров. Молодые животные отличались активностью и хорошим здоровьем (рис. 1, 2).

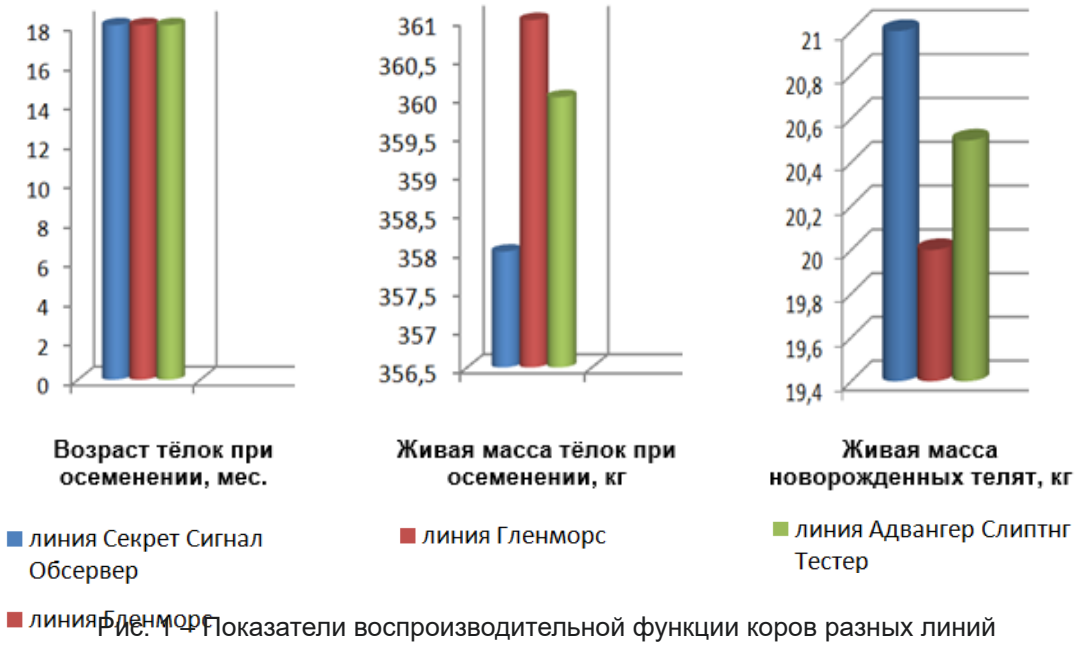


Рис. 1 – Показатели воспроизводительной функции коров разных линий
Fig. 1 – Reproductive function indicators of cows of different lines

Рис. 2 – Теленок джерсейской породы
Fig. 2 – Jersey calf

Ежемесячно проводилось взвешивание телят, результаты взвешиваний отображены на рисунке 3.

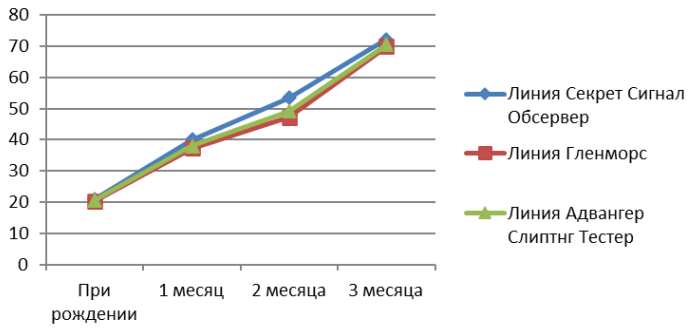


Рис. 3 – Живая масса телят, кг
Fig. 3 - Live weight of calves, kg

Исходя из представленных данных, можно заметить, что за период в три месяца наблюдался прирост массы теленка на 243, 241 и 242 % в соответствии с группами Секрет Сигнал Обсервер 553236, Гленморс 157911 и Адвангер Слиптнг Тестер. Это является показателем того, что животные находились в условиях, благоприятствующих их росту и развитию, при этом получали качественный уход и питание.

В зоотехнической практике способность к размножению у коров оценивается в том числе через индекс плодовитости. Этот показатель представляет собой комплексную оценку, которая измеряет общую способность самки к размножению на протяжении её жизни. Этот индекс рассчитывается с учётом не только времени между отелами, но и возраста первого отела [6].

Индекс плодовитости в опыте составил:

ИП группы Секрет Сигнал Обсервер = 52;

ИП группы Гленморс = 50;

ИП группы Адвангер Слиптнг Тестер = 50.

Коэффициент воспроизводительной способности у коров охватывает анализ семени по качеству, фертильность самок, временные рамки для оплодотворения, техники работы со спермой и способы её введения. Кроме того, учитываются внешние условия, такие как стресс и повышенная температура окружающей среды.

Коэффициент воспроизводительной способности в опыте составил:

КВС группы Секрет Сигнал Обсервер = 1;

КВС группы Гленморс = 1;

КВС группы Адвангер Слиптнг Тестер = 0,98.

В таблице 1 приведены данные, относящиеся к репродуктивным характеристикам коров.

Таблица 1 – Воспроизводительная способность коров опытных групп [8].

Показатель	1-я группа линия Секрет Сигнал Обсервер 553236	2-я группа линия Гленморс 157911	3-я группа линия Адвангер Слиптнг Тестер
1	2	3	4
Продолжительность сервис-периода, суток	93	90	92
Продолжительность сухостойного периода, суток	55	58	60
Продолжительность лактации, суток	310	308	310
Коэффициент воспроизводительной способности (КВС)	1	1	0,98

Заключение

Использование линейного метода разведения коров молочного направления продуктивности значительно повышает эффективность выделения и применения уникальных характеристик лучших представителей животных. В процессе селекции молочного скота важно обращать внимание на генеалогическую принадлежность коров и выбирать для разведения быков-производителей с доказанным качеством потомства, способных улучшить характеристики породы. Отношение к определенной линии напрямую влияет на репродуктивные возможности коров, причем наиболее высокие показатели воспроизводственной функции наблюдаются у животных, принадлежащих к линии Секрет Сигнал Обсервер.

Список источников

1. Взаимосвязь молочной продуктивности и воспроизводительных функций коров голштинской породы / О. В. Горелик, С. Ю. Харлап, М. Б. Ребезов, А. С. Горелик // Аграрная наука. – 2023. – № 12. – С. 74-79.

2. Востроилов, А. В. Адаптация и производственное долголетие импортного крупного рогатого скота в условиях промышленного комплекса / А. В. Востроилов, Е. С. Артемов, С. И. Капустин // Молочное и мясное скотоводство. – 2022. – № 4. – С. 26-30.

3. Князева, Т. А. Джерсейская порода молочного скота в Российской Федерации / Т. А. Князева, Н. Ю. Чекменева, С. В. Никитина // Зоотехния. – 2019. – № 5. – С. 5.

4. Коротких, В. В. Оценка воспроизводительной способности коров джерсейской и монбельярдской пород / В.В. Коротких, А.В. Востроилов, С.И. Капустин // Вестник РГАТУ, 2019. - №2 (42).- С. 135-140.

5. Молочная продуктивность коров и факторы ее обуславливающие / И. М. Дунин, К. К. Аджибеков, А. Г. Козанков [и др.] // Зоотехния. – 2022. – № 11. – С. 2-4.

6. Розиков, Б. М. Оценка молочной продуктивности воспроизводительных качеств коров при разной сочетаемости линий родителей / Б. М. Розиков, А. Ф. Хабиров // Российский электронный научный журнал. – 2024. – № 1(51). – С. 103-114.

7. Шишкина, Т. В. Оценка воспроизводительных качеств коров в зависимости от происхождения / Т. В. Шишкина, Т. А. Гусева, Э. А. Латыпова // Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 82-88.

8. Юхина, Д. Э. Молочная продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от генеалогической принадлежности: специальность 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Юхина Диана Эмериховна. – Рязань, 2024. – 133 с.

References

1. Vzaimosvyaz` molochnoj produktivnosti i vosproizvoditel`ny`x funkcij korov golshtinskoj porody` / O. V. Gorelik, S. Yu. Xarlap, M. B. Rebezov, A. S. Gorelik // Agrarnaya nauka. – 2023. – № 12. – S. 74-79.

2. Vostroilov, A. V. Adaptaciya i proizvodstvennoe dolgoletie importnogo krupnogo rogatogo skota v usloviyax promy`shlennogo kompleksa / A. V. Vostroilov, E. S. Artemov, S. I. Kapustin // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2022. – № 4. – S. 26-30.

3. Knyazeva, T. A. Dzhersejskaya poroda molochnogo skota v Rossijskoj Federacii / T. A. Knyazeva, N. Yu.

Chekmeneva, S. V. Nikitina // Zootexniya. – 2019. – № 5. – S. 5.
4. Korotkix, V. V. Ocenka vosproizvoditel`noj sposobnosti korov dzhersejskoj i monbel`yardskoj porod / V.V. Korotkix, A.V. Vostroilov, S.I. Kapustin // Vestnik RGATU, 2019. - № 2 (42). – S. 135-140.
5. Molochnaya produktivnost` korov i faktory` ee obuslavlivayushhie / I. M. Dunin, K. K. Adzhibekov, A. G. Kozankov [i dr.] // Zootexniya. – 2022. – № 11. – S. 2-4.
6. Rozikov, B. M. Ocenka molochnoj produktivnosti vosproizvoditel`ny`x kachestv korov pri raznoj sochetaemosti linij roditelej / B. M. Rozikov, A. F. Xabirov // Rossijskij e`lektronny`j nauchny`j zhurnal. – 2024. – № 1(51). – S. 103-114.
7. Shishkina, T. V. Ocenka vosproizvoditel`ny`x kachestv korov v zavisimosti ot proisxozhdeniya / T. V. Shishkina, T. A. Guseva, E`. A. Laty`pova // Niva Povolzh`ya. – 2021. – № 1(58). – S. 82-88.
8. Yuxina, D. E`. Molochnaya produktivnost` korov dzhersejskoj porody` v zavisimosti ot genealogicheskoj prinadlezhnosti : special`nost` 4.2.4. Chastnaya zootexniya, kormlenie, texnologii prigotovleniya kormov i proizvodstva produkcii zhivotnovodstva : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata sel`skoxozyajstvenny`x nauk / Yuxina Diana E`merixovna. – Ryazan`, 2024. – 133 s.

Информация об авторах

Диана Эмериховна Юхина, ассистент кафедры технологии общественного питания и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», lady_diana1@mail.ru

Author Information

Diana E. Yukhina, assistant of the department of public catering technology and processing of agricultural products, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, lady_diana1@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.
The article was submitted 01.11.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 12.12.2024

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 60-70
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.60-70

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.4 (470.313)
DOI: 10.36508/RSATU.2024.93.53.010

АЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ОКИ

Ольга Алексеевна Захарова[1] ✉, Ольга Валерьевна Евдокимова[2], Константин Николаевич Евсенкин[3], Александра Ивановна Новак[4], Вадим Петрович Шичков[5]

[1,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева», Рязань, Россия
[1,2,4] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Минздрава РФ, Рязань, Россия
[3] ФГНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», Рязань, Россия

[1] ol-zahar-ru@yandex.ru
[2] o.evdokimova@rzgmu.ru
[3] kn.evsenkin@yandex.ru
[4] marieta69@mail.ru

Аннотация. *В статье изложены теоретические аспекты формирования аллювиальной почвы Центральной поймы р.Оки в с.Поляны Рязанского района Рязанской области. Описаны почвенные профили двух участков – под луговым разнотравьем и кукурузой на силос. Установлены зональные особенности почвы. Получены результаты исследований общего микробного числа и микроорганизмов, выросших на питательных средах. Несмотря на дату проведения исследований, микрофлора была активной и видовой состав был обилен.*

Проблема и цель. *В регионе исследования аллювиальной почвы Центральной поймы р.Оки носили фрагментарный характер. Эти почвы характеризуются регулярным затоплением и отложением аллювия, содержащего питательные вещества, что отличает их от других типов. Часть почвы используется в сельскохозяйственном производстве, часть представлена залежью. Цель исследований – выявление региональных особенностей аллювиальной почвы Центральной поймы реки Оки в с.Поляны для сохранения и повышения плодородия и роста ее продуктивности.*

Методология. *Исследования начаты в сентябре 2024 г. Из-за оптимальных погодных условий, сложившихся в первый месяц осени, стало возможным изучение и сравнение почвенных профилей двух участков – фитоценоза и агрофитоценоза, а также проведение микробиологических исследований, результаты которых впоследствии будут использованы как исходные данные для научной работы. Откопка шурфов проведена в соответствие с Отраслевым стандартом ОСТ 56-81-84 "Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам" и ОСТ 56-81-84 «Полевые исследования почвы, порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам». Глубина шурфов определена уровнем грунтовых вод. Питание их атмосферно-грунтовое. Выполнено полнопрофильное изучение почвы. В работе использовались рекомендации от 2004 года «Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы. Методические рекомендации». Статистическая обработка результатов проводилась с использованием компьютерной программы Statistika 2010.*

Результаты. *В АО «Московское» площадь сельскохозяйственных земель составляет около 2170 га. Речной ландшафт представлен поймой и сформирован не только воздействием биоклиматических условий, но и процессами затопления полыми водами и отложением аллювия. Пахотный горизонт 0-20 см аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы участка обследования имел благоприятные водно-физические свойства для ведения сельского хозяйства: плотность сложения почвы послойно (0-10 см и 10-20 см) изменялась от 1,07 до 1,28 т/м³, плотность твердой фазы – от 2,44 до 2,47 г/см³, полная влагоемкость – от 52,49 до 37,66 % соответственно. С глубиной водно-физические свойства почвы ухудшались: наибольшие значения плотности сложения почвы (1,44 т/м³) и плотность твердой фазы (2,55 г/см³) зафиксированы в слое 60-70 см; полная влагоемкость возросла до 33,72 % в слое 80-100 см. Аллювиальный процесс в центральной пойме характеризовался чередованием наносов, горизонтальным расположением удлиненных минеральных частиц, органических остатков. Структура наилка имеет деформированную текстуру. Распределение гумуса равномерное, содержание органического вещества более 3 %. В последующем*

© Захарова О.А., Евдокимова О.В., Евсенкин К.Н., Новак А.И., Шичков В.П., 2024 г.

содержание гумуса снижается из-за его интенсивной минерализации. Гумусовый горизонт не имеет четких границ. Аллювиальная почва имеет зональные особенности, формируется на ровных участках и неглубоких межгривных понижениях Центральной поймы. Описаны почвенные профили двух участков. 2024 год отличался ранним паводком и низкой меженью, что было благоприятно для почвенной микробиоты. Микробиологическая активность аллювиальной почвы к сентябрю затухает, но в первый месяц осени этого года температура воздуха была в среднем +17,5° С (дневная +25° С) при среднегодовой 12,5° С (дневная +14° С). Температура в слое почвы 0-10 см в сентябре была выше среднегодовой на +5-7° С и в дневные часы достигала +1517° С, вниз по профилю постепенно снижалась. Осадков не было, но, учитывая влажный переходный горизонт, дефицита воды почвенная микрофлора не испытывала. В слое почвы 10-20 см участка №1 выявлена максимальная численность микроорганизмов, которых больше на 10,7 % по сравнению с верхним слоем 0-10 см, вниз по профилю количество микроорганизмов резко снижалось. В почве на участке №2 отмечена та же закономерность распределения микроорганизмов, что и в почве на участке №1. Отличием явилась численность микрофлоры из-за поступления в почву питательных веществ с удобрительными средствами, вносимыми под кукурузу. Так, содержание бактерий, выросших на почвенном агаре, была выше в слое почвы 0-10 см и 10-20 см в два раза по сравнению с этим показателем в почве фитоценоза. Коэффициент Жаккара (Kj) составил около 50 и 46 % в луговом ценозе и агрофитоценозе соответственно. Видовое разнообразие микробиоценоза в сентябре оставалось обильным. В доминанте были актиномицеты Nocardia mucosum, что, на наш взгляд, можно объяснить высокой адаптационной способностью этого компонента микробиоты к условиям окружающей среды, спецификой питания, так как они являются активными минерализаторами растительных остатков и гумусовых соединений. Содержание актиномицетов, участвующих в трансформации органического вещества, составило в слое почвы 0-10 см на участке №1 203 тыс. КОЕ/г почвы, на участке №2 – на 12 % больше, затем их численность снижалась. Для микроскопических грибов, разлагающих растительные остатки, наоборот, оптимальной средой явился слой почвы 0-10 см, занятый корнями луговых трав. Проведенный регрессионно-корреляционный анализ показал тесную связь между pH почвы, содержанием в ней микроорганизмов, выросших на МПА, и органическим веществом в пахотном слое почвы участков обследования №1 и №2 при r=0,81 и r=0,80 соответственно.

Заключение. *Аллювиальная почва Центральной поймы реки Оки с. Поляны Рязанского района Рязанской области сформирована на ровных участках и неглубоких межгривных понижениях Центральной поймы. Структуры почвенных профилей выделили обособленный дерновый горизонт, невыраженный гумусовый горизонт, переходные горизонты и материнскую породу с водоносным слоем, нейтральную pH. Мощность профиля 170 см и более. Отличительной особенностью участка №2 от первого явилось увеличение мощности гумусового горизонта и более рыхлая его структура, наличие многих ходов и нор кротов. В остальном структура профиля оставалась такой же. Зональными особенностями профиля почвы являются: невыраженный слабомощный гумусовый горизонт, признаки оглеения в переходных горизонтах, слоистая структура аллювия. Микробиологическая активность почвы высокая. Видовой состав обильный. Отличия микробиологических показателей в окультуренной почве участка №2 вызваны применением удобрительных средств, что повысило содержание питательных веществ и тем самым улучшило условия жизнедеятельности микроорганизмов.*

Ключевые слова: *аллювиальная почва, пойма, профиль, зональные особенности, затопление, слоистость аллювия, микрофлора*

Для цитирования: *Захарова О.А., Евдокимова О.В., Евсенкин К.Н., Новак А.И., Шичков В.П. Азональные особенности аллювиальной почвы Центральной поймы реки Оки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С. 60-70 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.93.53.010*

Original article

AZONAL FEATURES OF ALLUVIAL SOILS OF THE CENTRAL FLOODPLAIN OF THE OKA RIVER

Olga A. Zakharova[1] ✉, Olga V. Evdokimova[2], Konstantin N. Evsenkin[3], Alexandra I. Novak[4], Vadim P. Shichkov[5]

[1,5] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1,2,4] Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russia

[3]Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Ryazan, Russia

[1] ol-zahar-ru@yandex.ru

[2] o.evdokimova@rzgmu.ru
[3] kn.evsenkin@yandex.ru
[4] marieta69@mail.ru

Abstract. *The article presents theoretical aspects of the formation of alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River in the village of Polyany. The soil profiles of two sites are described - under meadow grass and corn for silage. Zonal soil features are established. The results of studies of the total microbial count and microorganisms grown on nutrient media are obtained. Despite the date of the study, the microflora was active and the species composition was abundant.*

Problem *and purpose. In the region the alluvial soils of the Central floodplain of the Oka River were fragmentary. These soils are characterized by regular flooding and deposition of alluvium containing nutrients, which distinguishes them from other types. Part of the soil is used in agricultural production, and part is a fallow land. The purpose of the research is to identify regional features of the alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River in the village of Polyany in order to preserve and increase fertility and increase its productivity.*

Methodology. *The research began in September 2024. Due to the optimal weather conditions that developed in the first month of autumn, it became possible to study and compare the soil profiles of two areas - phytocenosis and agrophytocenosis, as well as to conduct microbiological studies, the results of which will subsequently be used as initial data for scientific work. The excavation of pits was carried out in accordance with the Industry Standard OST 56-81-84 "Field soil studies. Procedure and methods of carrying out work, basic requirements for the results" and OST 56-81-84 "Field soil studies, procedure and methods of carrying out work, basic requirements for the results". The depth of the pits is determined by the groundwater level. They are fed by atmospheric and groundwater. A full-profile soil study has been completed. The work used the recommendations from 2004 "Control methods. Biological and microbiological factors. Methods of microbiological control of soil. Methodical recommendations". Statistical processing of the results was carried out using the Statistika 2010 computer program.*

Results. *In JSC Moskovskoye, the area of agricultural land is about 2,170 hectares. The river landscape is represented by a floodplain and is formed not only by the impact of bioclimatic conditions, but also by flooding processes with flood waters and alluvium deposition. The arable horizon of 0-20 cm of the alluvial meadow medium loamy soil of the survey site had favorable water-physical properties for agriculture: the soil bulk density in layers (0-10 cm and 10-20 cm) varied from 1.07 to 1.28 t/m³, the density of the solid phase - from 2.44 to 2.47 g/cm³, the total moisture capacity - from 52.49 to 37.66%, respectively. With depth, the water-physical properties of the soil worsened: the highest values of soil bulk density (1.44 t/m3) and solid phase density (2.55 g/cm³) were recorded in the 60-70 cm layer; total moisture capacity increased to 33.72% in the 80-100 cm layer. The alluvial process in the central floodplain was characterized by alternating sediments, horizontal arrangement of elongated mineral particles, and organic residues. The structure of the silt has a deformed texture. The distribution of humus is uniform, the content of organic matter is more than 3%. Subsequently, the humus content decreases due to its intensive mineralization. The humus horizon has no clear boundaries. The alluvial soil has zonal features, forming on flat areas and shallow interridge depressions of the Central Floodplain. Soil profiles of two areas are described. The year 2024 was characterized by an early flood and low water, which was favorable for the soil microbiota. The microbiological activity of the alluvial soil fades by September, but in the first month of autumn this year, the air temperature was on average +17.5 °C (daytime +25 °C) with an annual average of 12.5 °C (daytime +14 °C). The temperature in the 0-10 cm soil layer in September was higher than the annual average by +5- 7 °C and reached +15-17 °C during the daytime, gradually decreasing down the profile. There was no precipitation, but given the wet transition horizon, the soil microflora did not experience a water deficit. In the 10-20 cm soil layer of plot No. 1, the maximum number of microorganisms was found, which was 10.7% more than in the upper 0-10 cm layer, down the profile, the number of microorganisms sharply decreased. In the soil of plot No. 2, the same pattern of distribution of microorganisms was noted as in the soil of plot No.1. The difference was the number of microflora due to the entry of nutrients into the soil with fertilizers applied under the corn. Thus, the content of bacteria grown on soil agar was twice as high in the 0-10 cm and 10-20 cm soil layers compared to this indicator in the soil of the phytocenosis. The Jaccard coefficient (Kj) was about 50 and 46% in the meadow cenosis and agrophytocenosis, respectively. The species diversity of the microbiocenosis remained abundant in September. The dominant species were actinomycetes Nocardia mucosum, which, in our opinion, can be explained by the high adaptive capacity of this component of the microbiota to environmental conditions, the specificity of nutrition, since they are active mineralizers of plant residues and humus compounds. The content of actinomycetes involved in the transformation of organic matter in the 0-10 cm soil layer in plot No.1 was 203 thousand CFU / g of soil, in plot No. 2 - 12% more, then their number decreased. For microscopic fungi decomposing plant residues, on the contrary, the optimal environment was the 0-10 cm soil layer occupied by the roots of meadow grasses. The conducted regression-correlation analysis showed a close relationship between the soil pH, the content of microorganisms grown on MPA, and the organic matter in the arable soil layer of survey sites No. 1 and No. 2 at r = 0.81 and r = 0.80, respectively.*

Conclusion. *The alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River, Polyany village, Ryazan district, Ryazan region, is formed on flat areas and shallow interridge depressions of the Central floodplain. The structures of the soil profiles identified a separate sod horizon, an indistinct humus horizon, transitional horizons, and parent*

rock with an aquifer, neutral pH. The profile thickness is 170 cm or more. A distinctive feature of site No. 2 from the first was an increase in the thickness of the humus horizon and its looser structure, the presence of many passages and mole holes. Otherwise, the profile structure remained the same. Zonal features of the soil profile are: an indistinct, weak humus horizon, signs of gleying in transitional horizons, and a layered structure of alluvium. Microbiological activity of the soil is high. The species composition is abundant. The differences in microbiological indicators in the cultivated soil of plot No. 2 are caused by the use of fertilizers, which increased the content of nutrients and thereby improved the living conditions of microorganisms.

Key words: *alluvial soil, floodplain, profile, zonal features, flooding, alluvial layering, microflora*

For citation: *Zakharova O.A., Evdokimova O.V., Evsenkin K.N., Novak A.I., Shichkov V.P. Azonal features of the alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol. 16, No. 4, P.60-70. https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.93.53.010*

Введение

В Рязанской области до 11 % территории занимают аллювиальные почвы. Этот тип почв имеет своеобразные свойства и режимы, которые формировались в процессе образования речных долин и дельт с ежегодным подтоплением паводковыми водами, приносящими большое количество питательных веществ с наносами. В Классификации почв (1977 г.) они образуют отдел в стволе синлитогенных почв. Аллювиальным почвам свойственна частая смена по глубине и мощности пород разного состава с преобладанием суглинков и глин или супеси и песков [4]. В разные годы вели исследования и изучали свойства аллювиальных почв основоположники науки В.Р. Вильямс, И.И. Плюснин, В.А. Ковда, Г.В. Добровольский, С.В. Зонн и другие, а также современные исследователи Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Ильинский, и другие.

Аллювиальные почвы разнообразны [1]. Так, до 85 % занимают аллювиальные луговые средне- и тяжелосуглинистые почвы. Образование в речной долине наносов – аллювия – связано с геологическими преобразованиями и разрушением пород под действием воды, последующим переносом и отложением грунтовых частиц, формированием вторичного осадка. Аллювий слагает поймы, представляющие часть долины реки, которая затопляется в период половодья или паводков [2]. На рисунке 1 показано строение поймы [3]. Части поймы отличаются друг от друга характером поверхности и составом аллювиальных отложений. В центральной пойме оседает больше илистых и пылевидных частиц. Пойменный аллювий формируется на регулярных заливных поймах в паводок из мелких взвешенных частиц, что образует слоистость, созданную регулярными наносами, из-за чего речные осадки обладают специфическими свойствами.

Освоение поймы реки Оки в прошлом шло двумя путями. Первый – удаление лесной растительности и планировка территории с последующим ее использованием как сенокосы и пастбища. Второй – регулирование речного стока, распашка пойменных земель, коренное их улучшение, внесение удобрений и других удобрительных средств.

В настоящее время, по данным мониторинговых исследований Министерства природообустройства региона, из-за изменения экономического режима в перестроечное время, недостатка средств на поддержание приобретения техники и трудовых ресурсов, игнорирование достижений современной аграрной науки и технологий возделывания культур по большей части аллювиальные почвы региона заросли кустарниковой, древесной, сорной растительностью, замусорены, закочкарены и деградированы.

Объекты и методы исследований

Объектом наших исследований выступает аллювиальная почва Центральной поймы р. Оки в с. Поляны Рязанского района Рязанской области. Обоснованием исследований аллювиальных почв Центральной поймы служила их слабая изученность. На рисунке 1 показано строение поймы [3].

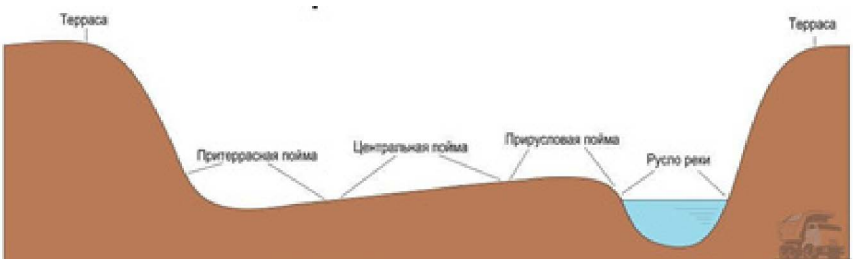


Рис. 1 – Строение поймы (красным выделена часть поймы, где находится объект исследований)
Fig. 1 – Floodplain structure (the part of the floodplain where the research object is located is highlighted in red)

Части поймы отличаются друг от друга характером поверхности и составом аллювиальных отложений. В центральной пойме оседает больше илистых и пылевидных частиц.

Структура почвенного профиля не описана. Микробиологические особенности почвы не изучены, а лишь фрагментарно рассматривалась целлюлозоразрушающая активность посредством заложения льняного полотна.

Цель исследований – изучение особенностей аллювиальной почвы Центральной поймы р Оки. Исследования начаты в сентябре 2024 года. Планируется в дальнейшем комплексное изучение аллювиальной почвы, а полученные результаты

этого года представляют собой лишь исходный материал, который позволит проследить динамику процессов в будущем.

Объектами были выбраны два участка на территории АО «Московское» Рязанского района. История социально-экономического использования этих объектов берет начало в советское время, когда на участках возделывались культуры в севообороте, в 1990-х годах они использовались как естественное пастбище, а затем – в виде залежных земель. Участок №1 до сих пор законсервирован и не используется. Он представлен злаково-разнотравным сообществом. Участок №2 в начале 2000 г. был введен в сельскохозяйственный оборот и сейчас 6 лет подряд на нем бессменно возделывается кукуруза. Участки расположены примерно в 150 м друг от друга. Представляют собой территории площадью до 5 га, граничат между собой, молодым сосновым лесом и грунтовой дорогой. Рельеф спокойный. Затопление происходит в половодье или паводковыми водами почти ежегодно и длится 2-3 недели.

Методика исследований традиционная. Агрохимические испытания почвы выполнены в аккредитованной аналитической лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская» с использованием стандартных методик определения содержания химических показателей. Отбор проб для микробиологических исследований проведен в сентябре один раз в декаду при откопке шурфов по слоям почвы с шагом 10 см от дневной поверхности до глубины 50 см, чему способствовала теплая и сухая погода. Откопка шурфов проведена в соответствие с Отраслевым стандартом ОСТ 56-81-84 "Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам" и ОСТ 56-81-84 «Полевые исследования почвы, порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам». Глубина шурфов определена уровнем грунтовых вод. Питание их атмосферно-грунтовое. Выполнено полнопрофильное изучение почвы.

В работе использовались рекомендации от 2004 года «Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы. Методические рекомендации». Почвенная суспензия разводилась в соотношении 1:1000 и высевалась в чашки Петри с питательными средами. Коэффициент Жаккара (Kj), рассчитанный как размер пересечения, деленный на размер объединения наборов выборок:

$$Kj = \frac{c}{a+b-c},$$

где a – количество видов на первой пробной площадке,

b – оличество видов на второй пробной площадке,

c – количество видов, общих для первой и второй площадок.

Индекс педотрофности рассчитывался как численность микробов на почвенном агаре / численность микробов на МПА. Микробиологические исследования выполнены на кафедре микробиологии ФГБОУ ВО РГМУ посевом на питательные среды.

Температура и влажность почвы определялись тензиометром ежедекадно. При описании и установлении зональных особенностей использовались «Классификации и диагностика почв СССР» (1977) в доработке Г.В. Добровольского. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием компьютерной программы Statistika 2010.

2024 год характеризовался затоплением поймы длительностью до двух недель. В целом год характеризовался как сухой и жаркий. Даже в сентябре температура воздуха и почвы была выше среднегодовой, а дождей практически не выпадало.

Результаты исследований

В АО «Московское» сельскохозяйственное производство ведется более чем на 2 тыс. га, остальная площадь находится в залежи и на современном этапе представляет собой луговой фитоценоз.

Речной ландшафт представлен поймой и сформирован не только воздействием биоклиматических условий, но и процессами затопления полыми водами и отложением аллювия. Русло реки является центральной дреной. Аллювиальный ландшафт в целом – сложная сопряженная система. В результате ежегодных паводков аллювиальная пойменная почва приобрела отличительный от других морфологический, физико-химический и микробиологический характер.

В поперечном направлении поймы состоят из прирусловой, центральной и притеррасной частей. Нами исследования проводились в центральной пойме [3]. Почти ежегодно происходит затопление полыми водами сельскохозяйственных угодий в АО «Московское», что улучшает водный режим территории, ускоряет оттаивание почвы и обогащает ее питательными веществами, приносимыми с наносами.

Глубина шурфов определена уровнем грунтовых вод, которые размещены в нижерасположенных горизонтах под действием разных взаимосвязанных факторов, как естественных, так и искусственных. Такими факторами являются, к примеру, климат и погода, почва и растительность. В последнее столетие большое влияние оказывает антропогенное вмешательство. Глубина расположения грунтовых вод в пойменных почвах небольшая и составляет в нашем случае до 2,0 м. Близкое расположение грунтовых вод к дневной поверхности влечет их участие в затоплении весной и накладывает отпечаток на почвообразовательный процесс.

Питание грунтовых вод атмосферно-грунтовое, за счет фильтрации из реки, подтока из более глубоких водоносных горизонтов, разлива реки Оки. Они тесно связаны с аллювиальными образованиями, что объясняет слоистость как результат значительных колебаний уровней и скорости течений потока. Чередования слоев характеризуются не-

одинаковой крупностью, составом и мощностью. Ежегодно новые наносы в зависимости от скорости потока воды откладывают аллювий разной крупности, что, в свою очередь, привело к преобразованию продольного профиля дна водотока. Это послужило причиной трансформации расположения новых отложений аллювия чаще по диагонали, но некоторые слои выклиниваются рядом друг с другом.

Верхняя граница капиллярной каймы постоянно колеблется в пределах почвенного профиля.

Морфология профиля пойменной почвы устанавливается соотношением и интенсивностью аллювиальных и собственно почвообразовательных процессов. Компоненты органического вещества и питательных веществ почвы определяются составом наилка (Балабко, 1991), который содержит гумус и соединения калия и фосфора. К тому же, наилок богат микроорганизмами.

В таблице 1 приведены водно-физические и агрохимические свойства аллювиальной луговой почвы АО «Московское» от 1995 г. (данные ВНИИГиМ) для сравнения ее прошлого и нынешнего состояния.

Таблица 1 – Водно-физические и агрохимические свойства аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы АО «Московское» Рязанского района Рязанской области, 1995 год

Горизонты	Плотность сложения, т/м³	Плотность твердой фазы, т/м³	ПВ, %	Подвижный фосфор, мг/кг почвы	Подвижный калий	$pH_{(KCl)}$	Органическое вещество, %
0-10	1,07±0,1	2,44±0,1	52,49±1,9	197±2,9	120±2,1	6,7±0,1	3,64±0,4
10-20	1,28±0,3	2,47±0,1	37,66±1,4	155±2,5	127±2,3	6,8±0,2	3,22±0,4
20-30	1,39±0,3	2,45±0,2	31,08±1,4	134±2,4	137±2,3	7,0±0,3	2,43±0,3
30-40	1,38±0,3	2,49±0,2	32,27±1,5	108±2,3	116±2,4	6,4±0,6	2,20±0,3
40-50	1,43±0,4	2,50±0,3	29,97±1,5	87±2,0	41±1,9	6,0±0,6	–
50-60	1,42±0,5	2,51±0,3	30,62±1,5	66±2,0	38±1,9	5,6±0,6	-
60-70	1,44±0,5	2,55±0,3	30,24±1,6	20±1,4	36±1,9	5,2±0,6	–
70-80	1,42±0,5	2,55±0,4	31,21±1,6	12±1,4	37±1,9	4,0±0,5	-
80-90	1,36±0,6	2,51±0,4	33,72±1,6	9±1,2	36±1,9	3,7±0,5	–
90-100	1,27±0,6	2,50±0,4	33,88±1,7	25±1,5	20±1,5	4,9±0,5	-

Пахотный горизонт 0-20 см аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы участка обследования обладал благоприятными водно-физическими свойствами для ведения сельского хозяйства: плотность сложения почвы послойно (0-10 см и 10-20 см) возрастала от 1,07 до 1,28 т/м³, плотность твердой фазы – от 2,44 до 2,47 г/см³, полная влагоемкость снижалась от 52,49 до 37,66 % соответственно. С глубиной водно-физические свойства почвы ухудшались: наибольшие значения плотности сложения почвы (1,44 т/м³) и плотность твердой фазы (2,55 г/см³) зафиксированы в слое 60-70 см; полная влагоемкость имела наибольшее значение 33,72 % в слое 80-100 см.

На рисунке 2 представлен профиль аллювиальной почвы участка №1 под луговой растительностью. Аллювиальный процесс в центральной пойме характеризуется чередованием наносов, в состав которых входят разные элементы, горизонтальным расположением удлиненных минеральных частиц, органических остатков [10]. В верхнем горизонте более светлая окраска. Структура наилка имеет деформированную текстуру. Распределение гумуса равномерное, содержание органического вещества более 3 %. В последующем содержание гумуса снижается из-за его интенсивной минерализации. Гумусовый горизонт не имел четких границ.

Аллювиальная почва характеризовалась зональными особенностями, сформировалась на ровных участках и неглубоких межгривных понижениях Центральной поймы.

Рис. 2 – Общий вид почвенного профиля аллювиальной почвы Центральной поймы р.Оки участка №1
Fig. 2 – General view of the soil profile of the alluvial soil of the Central floodplain of the Oka River, plot No. 1

Описание профиля аллювиальной луговой почвы Центральной поймы в с. Поляны (участок №1).

Ad – дернина до 8 см, буровато-темно-серых тонов, плотная, тяжелого механического состава, густо пронизанная корнями трав;

A1 – гумусовый горизонт 8-10 см, буро-темно-серых тонов, тяжелого механического состава, зернистой структуры; характерны ржаво-бурые пятнышки и прожилки по ходам корней;

Bg – переходный горизонт буро-серых тонов, с сизыми пятнами оглеения, тяжелого механического состава, комковато-зернистой структуры, присутствуют железистые новообразования в виде ортштейнов;

BG – переходный оглеенный горизонт буровато-сизой или грязно-сизой окраски, тяжелого механического состава, непрочной структуры, чуть вязкий;

CG – слоистый аллювий;

W – в нижней части профиля вскрыт водоносный горизонт.

Почва – аллювиальная центральной поймы.

Аналогично описан почвенный профиль участка 2. Отличительной особенностью от первого явилось увеличение мощности гумусового горизонта и более рыхлая его структура, наличие многих ходов и нор кротов. В остальном структура профиля оставалась такой же.

Исследования проб аллювиальной почвы, отобранной в сентябре 2024 г., показали следующие результаты (таблицы 2,3 и 4).

Таблица 2 – Агрохимические и физические свойства аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы, 2024 г.

Показатель	Результат измерений		Норматив
	участок №1	участок №2	
$pH_{(KCl)}$	6,1±0,6	5,9±0,6	ГОСТ 26483-85
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	1,10±0,1	1,10±0,1	ГОСТ 26212-21
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	18,2±1,2	21,5±1,2	ГОСТ 27821-20
Органическое вещество, %	3,04±0,3	3,20±0,3	ГОСТ 26213-21
Валовый фосфор, %	0,2±0,02	0,3±0,02	ГОСТ 26261-84
Валовый калий, %	3,93±0,3	4,6±0,3	ГОСТ 26261-84
Общий азот, %	0,19±0,01	0,22±0,01	ГОСТ 26107-84
Обменный кальций, ммоль/100 г	25,76±1,9	27,60±1,9	ГОСТ 26487-85
Подвижный калий, мг/кг	56±2,2	71±2,2	ГОСТ Р 54650-11
Подвижный фосфор, мг/кг	123±3,0	134±3,0	ГОСТ Р 54650-11
Фракция: 10,0 – 0,25 мм	93,7±2,7	95,2±2,7	-
>10,0	4,7±0,3	3,8±0,3	-
<0,25	1,6±0,03	1,0±0,03	-

Концентрация агрономически ценных почвенных агрегатов в аллювиальной почве участка №2 в пахотном слое была на 1,6 % больше; структурных агрегатов размером более 10 мм – на 20 % меньше, размером менее 0,25 мм – 16 %.

На участке №1 также произошли изменения по сравнению с данными обследования в 1995 г. в виде снижения плодородия почвы и, как следствие, – наметившаяся деградация почвы в виде снижения содержания подвижного фосфора на 26 % и обменного калия на 55 %, органического вещества на 0,33 %, и увеличения кислотности на 0,6 ед.

В 2024 г. содержание питательных веществ в почве под разнотравьем (участок №1) было ниже по сравнению с данными на участке №2, где вносились удобрительные средства: подвижного фосфора – на 1,6 %, подвижного калия – на 27 %. Органического вещества убыло на 5,5 %.

2024 год отличался ранним паводком и низкой меженью, что было благоприятно для почвенной микробиоты. Микробиологическая активность аллювиальной почвы к сентябрю затухает [6], но в первый месяц осени температура воздуха была в среднем +17,5° С (дневная +25° С) при среднегодовой 12,5° С (дневная +14° С). Температура в слое почвы 0-10 см в сентябре была выше среднегодовой на +5-7° С и в дневные часы достигала +15-17° С, вниз по профилю постепенно снижалась. Осадков не было, но, учитывая влажный переходный горизонт, дефицита воды микрофлора не испытывала.

Нами была рассмотрена динамика ОМЧ на двух участках. Общее микробное число (ОМЧ) изменялось по мере перехода от органогенных к минеральным горизонтам.

Таблица 3 – Общая микробная численность на участке №1

Глубина слоя, см	ОМЧ, млн КОЕ/г декады сентября			Среднее значение ОМЧ	Численность на почвенном агаре, тыс. КОЕ/г	Численность на МПА, тыс. КОЕ/г
	1	2	3			
0-10	13,5±0,3	12,8±0,3	10,2±0,3	12,17	0,10±0,01	225±6,8
10-20	14,8±0,2	13,6±0,2	11,9±0,2	13,47	0,12±0,01	306±12,0
20-30	9,6±0,2	8,8±0,2	4,6±0,2	7,67	0,06±0,02	204±9,8
30-40	4,3±0,1	4,0±0,1	2,0±0,1	3,43	0,04±0,02	170±9,5
40-50	1,8±0,08	1,3±0,8	0,8±0,8	1,30	0,03±0,01	144±3,2
$НСР_{05}$				1,8	0,05	20,2

Как видно из представленных в таблице 3 данных, от 1-й к 3-й декаде идет затухание активности микроорганизмов. В слое почвы 10-20 см выявлена максимальная численность микроорганизмов, которых больше на 10,7 % по сравнению с верхним слоем 0-10 см, вниз по профилю количество микроорганизмов резко снижается.

Таблица 4 – Общая микробная численность на участке №2

Глубина слоя, см	ОМЧ, млн КОЕ/г декады сентября			Среднее значение ОМЧ,млн КОЕ/г	Численность на почвенном агаре, тыс. КОЕ/г	Численность на МПА, тыс. КОЕ/г
	1	2	3			
0-10	16,5±0,3	15,8±0,3	10,2±0,3	14,2	0,23±0,01	248±12,8
10-20	17,1±0,2	16,0±0,2	12,0±0,2	15,0	0,25±0,01	332±28,0
20-30	11,3±0,2	10,5±0,2	4,9±0,2	8,9	0,16±0,02	216±11,8
30-40	5,3±0,1	4,0±0,1	2,9±0,1	4,0	0,10±0,02	188±9,5
40-50	1,7±0,8	1,3±0,8	0,9±0,8	1,6	0,06±0,01	150±14,2
$НСР_{05}$				1,9	0,01	24,1

В почве на участке №2 отмечена та же закономерность распределения микроорганизмов, что и в почве на участке №1. Численность микрофлоры из-за поступления в почву питательных веществ с удобрительными средствами, вносимыми под кукурузу на участке №2, возросла: количество бактерий, выросших на почвенном агаре, выше в слое почвы 0-10 см и 10-20 см в два раза по сравнению с почвой фитоценоза.

Коэффициент Жаккара (Кj) составил около 50 и 46 % в луговом ценозе и агрофитоценозе соответственно, что совпадает с выводами В.Т. Мамедзаде [5].

Индекс педотрофности (Кр), показывающий степень развития автохтонной микрофлоры [7], в слое почвы 0-10 см был равен 0,034, 10-20 см – 0,038, 20-30 см – 0,030, 30-40 см – 0,030 на участке №1, что объяснялось поступлением свежего опада и наличием достаточного количества питательных веществ за счет корневых выделений; в слое 40-50 см – 0,020. На участке №2 Кр составил по слоям почвы 0,035; 0,040; 0,032; 0,031; 0,021 соответственно, то есть в среднем был выше по сравнению с Кр участка №1 на 3-5 %.

Содержание актиномицетов, участвующих в трансформации органического вещества, составило в слое почвы 0-10 см на участке №1 203 тыс. КОЕ/г почвы, на участке №2 – 228 тыс. КОЕ/г почвы, затем их численность снижалась.

Для микроскопических грибов, разлагающих растительные остатки, наоборот, оптимальной средой был слой почвы 0-10 см, занятый корнями луговых трав. Л.М. Соколова [8, 9] объясняет хороший рост грибов в этом слое почвы присутствием выделений растений, являющихся питательной средой, корневым опадом и более рыхлой структурой почвы, что влияет на ее аэрацию.

В перспективе будет оцениваться динамика ОМЧ за вегетационный период, но сентябрьские данные свидетельствовали о достаточном количестве питательных веществ в почве.

Видовое разнообразие микробиоценоза в сентябре не отличалось обильностью.

В доминанте были актиномицеты Nocardia mucosum, что, на наш взгляд, можно объяснить высокой адаптационной способностью этого компонента микробиоты к условиям окружающей среды, спецификой питания, так как они являются активными минерализаторами растительных остатков и гумусовых соединений.

В почвенной ризосфере обнаружены грибы, метаболизм которых только дыхательного типа с исполь-зованием кислорода, *Fusarium oxysporum* – коло 10-15 %, *Fusarium avenacium* – 8,2-8,8 %, *Sclerotinia sclerotiorum* – 7,9-8,3 % (где первое число – участок №1 и второе – участок №2), остальные виды были представлены единично. Пере-

численные виды относятся к патогенной флоре. В целом численность грибов в слое 0-10 см составила 229 тыс. КОЕ/г на участке №1 и 244 тыс. КОЕ/г на участке №2, далее их количество снижалось. Объяснить доминирование грибов в необрабатываемой почве, по-видимому, можно лучшей их приспособленностью к дефициту кислорода при затоплении, адаптацией к неблагоприятным условиям в виде спор, экономным обменом веществ и другими особенностями этих организмов.

Проведенный регрессионно-корреляционный анализ показал тесную связь между pH почвы, содержанием в ней микроорганизмов, выросших на МПА, и органическим веществом в пахотном слое почвы участков обследования №1 и №2 при r=0,81 и r=0,80 соответственно (рис. 3).

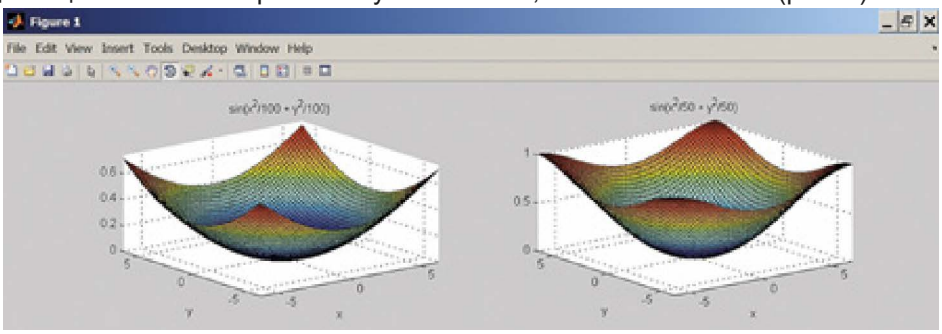


Рис. 3 – Поверхность отклика между pH почвы, содержанием в ней микроорганизмов, выросших на МПА, и органическим веществом в пахотном слое почвы
а – участок №1, б – участок №2
Fig. 3 – Response surface between soil pH the content of microorganisms grown on MPA, and organic matter in the arable soil layer a – plot No.1, b – plot No.2

Был построен график с геометрическим местом точек в факторном пространстве с фиксированным значением функции отклика, выраженной зависимости с уравнениями

для участка №1: $\sin(x^2/100+y^2/100+z^2/80)$

для участка №2: $\sin(x^2/50+y^2/50+z^2/30)$

Заключение

Обобщая вышеизложенное, заключаем, что аллювиальная почва Центральной поймы реки Оки с. Поляны Рязанского района Рязанской области формировалась на ровных участках и неглубоких межгривных понижениях Центральной поймы. Откопка шурфов проводилась на двух участках: участок №1 под луговой растительностью и участок №2 под бессменным возделыванием кукурузы. Структуры почвенных профилей выделили дерновый горизонт, невыраженный гумусовый горизонт, переходные горизонты и материнскую породу с водоносным горизонтом, нейтральную pH. Мощность профиля 170 и чуть более см. Отличительной особенностью участка №2 от первого явилось увеличение мощности гумусового горизонта и более рыхлая его структура, наличие многих ходов и нор кротов. В остальном структура профиля оставалась такой же. Особенностями профиля почвы являются: невыраженный слабомощный гумусовый горизонт, признаки оглеения в переходных горизонтах, слоистая структура аллювия. Содержание агрономически ценных агрегатов почвы участка №1 невысокое, при внесении удобрительных средств в почве участка №2 их количество возросло незначительно (+1,6 %), агрохимическая характеристика показала невысокий уровень плодородия почвы двух участков. Микробиологическая активность почвы в сентябре, который характеризовался оптимальными условиями для почвенной микрофлоры и был по сравнению со среднемноголетним более теплым и сухим, была высокой, видовой состав обильный. Отличия микробиологических показателей в окультуренной почве участка №2 вызваны применением удобрительных средств, что повысило содержание питательных веществ и тем самым улучшило условия жизнедеятельности микроорганизмов.

Список источников

1.Ахтырцев, Б.П. Аллювиальные дерновые примитивные почвы лесостепи и степи / Б.П. Ахтырцев, Л.А. Яблонских // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2003.- №1 . - С. 30-38 . URL: https://lib.rucont.ru/efd/523561

2.Васильев, А. А., Эколого-геохимическое состояние городских аллювиальных почв пойм малых рек на примере города Перми / А.А. Васильев, М. Н. Власов: Монография. – Пермь: Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, 2023. – 261 с.

3.Добровольский, Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины / Г.В. Добровольский. – М.: Изд-во МГУ,2005. – 290 с.

4.Кирюшин, В. И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель / В.И. Кирюшин. – СПб.: Издательство "Лань", 2024. – 284 с.

5.Мамедзаде, В.Т. Количественные показатели микроорганизмов аллювиальных почв естественных биотопов южного склона Большого Кавказа / В.Т. Мамедзаде //Бюллетень науки и практики, 2020. - №11 – С. 22-28.

6.Павлова, И.И. Накопление и распределение микробной биомассы в аллювиальных почвах дельты р. Селенги : Дисс. на соиск.уч.ст.. к.б.н. Спец. 03.02.13 /

И.И. Павлова. - Улан-Удэ, 2010.- 140 с.

7.Полякова, Н.В. Численность и состав основных групп микроорганизмов в аллювиальных осушенных почвах в зависимости от вида угодий, применения удобрений и биопрепаратов / Н.В. Полякова, М.Г. Лавринова, Н.А. Кулагина, Е.Н. Володина // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо» [Электронный ресурс] Режим ввода https://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_512.pdf

8.Соколова, Л. М. Анализ видового разнообразия грибов из рода Fusarium / Л.М. Соколова // Аграрная наука, 2019. - №1. - С. 118-122.

9.Соколова, Л.М. Разнообразие микроорганизмов в аллювиально луговой среднесуглинистой почве / Л.М. Соколова // Vestnik of the maristate university chapter "Agriculture. economics", 2024. - VOL. 10, - №1. - С.53-60.

10.Шишов, С.А. Минералогические и органические компоненты аллювиальных почв центральной поймы р. Ока : Автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук / С.А. Шишов .— Москва : Почвенный институт имени В.В.Докучаева, 2007 .— 28 с. — URL: https://lib.rucont.ru/efd/26173

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

References

1.Axty`rcev, B.P. Allyuvial`ny`e dernovy`e primitivny`e pochvy` lesostepi i stepi / B.P. Axty`rcev, L.A. Yablonskix // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ximiya. Biologiya. Farmaciya, 2003.- №1 . - S. 30-38 . URL: https://lib.rucont.ru/efd/523561

2.Vasil`ev, A. A., E`kologo-geoximicheskoe sostoyanie gorodskix allyuvial`ny`x pochv pojm maly`x rek na primere goroda Permi / A.A. Vasil`ev, M. N. Vlasov: Monografiya. – Perm`: Permskij gosudarstvenny`j agrarno-texnologicheskij universitet imeni akademika D. N. Pryanishnikova, 2023. – 261 s.

3.Dobrovol`skij, G.V. Pochvy` rechny`x pojm centra Russkoj ravniny` / G.V. Dobrovol`skij. – M.: Izd-vo MGU,2005. – 290 s.

4.Kiryushin, V. I. Klassifikaciya pochv i agroe`kologicheskaya tipologiya zemel` / V.I. Kiryushin. – SPb.: Izdatel`stvo "Lan`", 2024. – 284 s.

5.Mamedzade, V.T. Kolichestvenny`e pokazateli mikroorganizmov allyuvial`ny`x pochv estestvenny`x biotopov yuzhnogo sklona Bol`shogo Kavkaza / V.T. Mamedzade //Byulleten` nauki i praktiki, 2020. - №11 – S. 22-28.

6.Pavlova, I.I. Nakoplenie i raspredelenie mikrobnoj biomassy` v allyuvial`ny`x pochvax del`ty` r. Selengi : Diss. na soisk.uch.st.. k.b.n. Specz. 03.02.13 / I.I. Pavlova. - Ulan-Ude`, 2010.- 140 s.

7.Polyakova, N.V. Chislennost` i sostav osnovny`x grupp mikroorganizmov v allyuvial`ny`x osushenny`x pochvax v zavisimosti ot vida ugodij, primeneniya udobrenij i biopreparatov / N.V. Polyakova, M.G. Lavrinova, N.A. Kulagina, E.N. Volodina // E`lektronny`j nauchno-proizvodstvenny`j zhurnal «AgroE`koInfo» [E`lektronny`j resurs] Rezhim vvoda https://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_512.pdf

8.Sokolova, L. M. Analiz vidovogo raznoobraziya gribov iz roda Fusarium / L.M. Sokolova // Agrarnaya nauka, 2019. - №1. - S. 118-122.

9.Sokolova, L.M. Raznoobrazie mikroorganizmov v allyuvial`no lugovoj srednesuglinistoj pochve / L.M. Sokolova // Vestnik of the maristate university chapter "Agriculture. economics", 2024. - VOL. 10, - №1. - S.53-60.

10.Shishov, S.A. Mineralogicheskie i organicheskie komponenty` allyuvial`ny`x pochv central`noj pojmy` r. Oka : Avtoreferat dis. ... kandidata sel`skoxozyajstvenny`x nauk / S.A. Shishov .— Moskva : Pochvenny`j institut imeni V.V.Dokuchaeva, 2007 .— 28 s. — URL: https://lib.rucont.ru/efd/26173

Contribution of the authors:
All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Захарова Ольга Алексеевна, *д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева», профессор кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Минздрава РФ, ol-zahar-ru@yandex.ru*

Евдокимова Ольга Валерьевна, *канд. мед. наук, доцент, зав. кафедрой микробиологии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Минздрава РФ, o.evdokimova@rzgmu.ru*

Евсенкин Константин Николаевич, *канд. техн. наук, вед. научн. сотрудник ФГНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», kn.evsenkin@yandex.ru*

Новак Александра Ивановна, *д-р биол. наук. профессор кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Минздрава РФ, marieta69@mail.ru*

Шичков Вадим Петрович, *аспирант кафедры технологии общественного питания и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева».*

Author Information

Zakharova Olga A., *Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Professor of the Department of Microbiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ministry of Health of the Russian Federation, ol-zahar-ru@yandex.ru*

Evdokimova Olga V., *Ph.D. (Medical Sciences), Associate Professor, Head of the Department of Microbiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ministry of Health of the Russian Federation, o.evdokimova@rzgmu.ru*

Evsenkin Konstantin N., *Ph.D. (Engineering), Leading Researcher, Federal Scientific Institution, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov», kn.evsenkin@yandex.ru*

Novak Alexandra I., *Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Microbiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov of the Ministry of Health of the Russian Federation, marieta69@mail.ru*

Shichkov Vadim P., *Postgraduate Student of the Department of Public Catering Technology and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev.*

Статья поступила в редакцию 30.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 30.10.20; approved after review 18.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 71-77
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.71-77

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК: 619.616.24-002.153-053.2:636
DOI: 10.36508/RSATU.2024.13.10.011

ОЦЕНКА ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА АВЕРДЕЗ

Виктор Борисович Шемякин [1]✉, Эльман Олегович Сайтханов[2], Микаиль Нурбагандович Мирзаев[3], Екатерина Валерьевна Бессарабова[4]

[1,2] ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева", Рязань, Россия
[3,4] ФГБОУ ВО "Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К. И. Скрябина", Москва, Россия

[1] csgovita@yandex.ru
[2] elmanrzn@gmail.com
[3] cianid1945@yandex.ru
[4] ebessarabova@yandex.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Проблема исследования на данную тему заключается в наличии значительного внимания исследователей к поиску инновационных приемов профилактики инфекционных и инвазионных заболеваний. Одним из эффективных способов профилактики является ветеринарная дезинфекция. Эффективность противоэпизоотических мероприятий повышается, в том случае, если дезинфекция проводится комбинированными химическими средствами, направленными на уничтожение как бактерий, так и возбудителей паразитарных болезней. Цель исследований заключалась в оценке аллергизирующего и местно-раздражающего действия дезинфицирующего средства Авердез в опыте на лабораторных животных (доклинический эксперимент).*
Методология. *В качестве объектов исследования (биологических моделей) были использованы лабораторные крысы породы Вистар, кролики породы «Шиншилла», морские свинки породы «Агути», мыши породы CD-1. Определение ингаляционной токсичности препарата проводили в герметичном эксикаторе, в котором раствор Авердеза свободно испарялся в течение суток. Аллергизирующее действие изучалось методом накожных аппликаций на морских свинках. Местно-раздражающее действие препарата Авердез оценивали методом конъюнктивальной пробы на кроликах. Для выявления кожно-резорбтивного действия препарата использовали «пробирочный метод» на белых мышах.*
Результаты. *По оценке ингаляционной токсичности в эксикаторах с воздухом, насыщенным парами препарата Авердез, крысы выдерживали экспозицию в течение 2 часов без существенных изменений в физиологическом состоянии. При оценке аллергического действия методом накожных аппликаций на морских свинках установлено, что в местах нанесения препарата поверхность кожи остается практически без существенных изменений. Отмечалось только незначительное утолщение кожной складки у морских свинок, которым наносили препарат «Авердез» в 5 % концентрации, не имеющее статистической разницы с контрольной группой на достаточном уровне значимости. Данные, полученные при изучении местно-раздражающего действия Авердеза путем нанесения его на конъюнктиву глаза подопытных кроликов и в кожном тесте, свидетельствуют о зависимости степени раздражения от концентрации препарата. При изучении кожно-резорбтивного действия препарата известным «пробирочным методом», суть которого заключалась в том, что хвосты подопытных мышей на 2/3 длины опускали в пробирку с препаратом и фиксировали возможные изменения в организме животных, установлено отсутствие изменений на коже хвоста, отеков или некроза.*
Заключение. *Проведенные исследования свидетельствуют о том, что препарат в концентрациях 0,5 % - 5,0 % не оказывает существенного негативного действия на организм лабораторных животных. По основным показателям безвредности, препарат Авердез можно отнести к 4 классу малоопасных веществ.*

Ключевые слова: *токсикология, аллергизирующее действие, Авердез, лабораторные животные, раздражающее действие*

Для цитирования: *Шемякин В.Б., Сайтханов Э.О., Мирзаев М.Н., Бессарабова Е.В. Оценка токсикологических характеристик дезинфицирующего средства Авердез // Вестник Рязанского го-*

© Шемякин В.Б., Сайтханов Э.О., Мирзаев М.Н., Бессарабова Е.В., 2024 г.

сударственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С. 71-77https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.13.10.011

Original article

ASSESSMENT OF THE TOXICOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE AVERDEZ DISINFECTANT

Viktor B. Shemyakin[1]✉, Elman O. Saythanov [2], Mikail N. Mirzaev [3], Ekaterina V. Bessarabova [4]

[1,2] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[3,4] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K. I. Scriabin, Moscow, Russia

[1] csgovita@yandex.ru
[2] elmanrzn@gmail.com
[3] cianid1945@yandex.ru
[4] ebessarabova@yandex.ru

Annotation.
Problem and purpose. *The problem of research on this topic lies in the significant attention of researchers to the search and introduction into veterinary practice of new highly effective, harmless to humans and animals disinfectants that reduce the risks of infectious and invasive diseases. The aim of the research was to evaluate the allergenic and locally irritating effects of the Averdez disinfectant in an experiment on laboratory animals (preclinical experiment).*
Methodology. *Preclinical studies were conducted in the laboratory of the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K. I. Scriabin (23 Akademika Scriabin str., Moscow, Russia) in the period from September to November 2024. Wistar laboratory rats, Chinchilla rabbits, and CD-1 mice were used as objects of research (biological models). The inhalation toxicity of the drug was determined in a sealed desiccator in which the Averdez solution evaporated freely during the day. The allergenic effect was studied in vitro by the indirect mast cell degranulation reaction (RNTC). The local irritant effect of Averdez was evaluated by a conjunctival test on rabbits. To identify the skin-resorptive effect of the drug, the "test tube method" was used. The reliability of the data difference in the control and experimental groups was assessed by the Student's criterion at ($p<0.05$).*
Results. *Assessment of inhalation toxicity in desiccators with air saturated with vapors of Averdez, rats were exposed for 2 hours without significant changes in their physiological state. When evaluating the allergic effect in vitro, the percentage of degranulated mast cells in the experiment did not exceed 10 and, according to the accepted position, the test substance is considered harmless in terms of allergenicity. The results showed that the difference between the number of degranulated cells in the experiment and the control was in the range of 5-9%, and the average value was 7,200 ±0.43. The data obtained during the study of the local irritant effect of Averdez by applying it to the conjunctiva of the eye of experimental rabbits and in a skin test indicate that the degree of irritation depends on the concentration of the drug. When studying the skin-resorptive effect of the drug, the well-known "test tube method", the essence of which was that the tails of experimental mice were lowered into a test tube with the drug for 2/3 of the length and possible changes in the animal body were recorded, the absence of changes on the skin of the tail, edema or necrosis was established.*
Conclusion. *The conducted studies indicate that the drug in concentrations of 0.5% - 5.0% does not have a significant negative effect on the body of laboratory animals. According to the main indicators of harmlessness, the drug Averdez can be attributed to the 4th class of low-hazard substances.*
Key words: *toxicology, allergenic effect, Averdez, laboratory animals, irritant effect*
For citation: *Shemyakin V.B., Saitkhanov E.O., Mirzaev M.N., Bessarabova E.V. Assessment of the toxicological characteristics of the Averdez disinfectant // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 71-77 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.13.10.011*

Введение

Характерной особенностью современного промышленного животноводства является высокая концентрация поголовья на относительно ограниченных площадях. Это, несомненно, способствует возрастанию количества вредных микроорганизмов в помещениях и прилегающих территориях, оказывает определенное влияние на получение конкурентоспособной и экологически чистой продукции.

Угрозу благополучию животноводческих предприятий составляют микроорганизмы различных классов, в том числе паразитические формы, а также гельминты, насекомые. Методы профилактики и борьбы разнообразны, включают как общие подходы к формированию высокого иммунобиологического статуса восприимчивых животных, так и специфические способы уничтожения условно-патогенных и патогенных микроорганизмов и других представителей живой природы, наносящих вред здоровью человека и животных.

Среди специфических средств, применяемых

для борьбы с микроорганизмами, выделяют дезинфектанты. Не все дезинфектанты одинаково эффективны. Некоторые химические средства теряют свою активность при взаимодействии с органическими загрязнениями, отдельные препараты обладают высокой токсичностью и представляют угрозу здоровью человека и животных.

В связи с этим создание новых высокоэффективных дезинфицирующих средств остается актуальной проблемой ветеринарной дезинфектологии. На сегодняшний день на современном рынке химических средств дезинфекции представлено много новых препаратов.

Наше внимание в данной научной работе направлено на инновационный препарат Авердез, обладающий комплексным действием, благодаря которому специалист существенно экономит рабочее время, проводя и дезинфекционную обработку и дезинвазию, так как в составе препарата в числе активных компонентов не только бактерицидная субстанция, но и противогельминтное и акарицидное средства.

Как уже упоминалось в ранее опубликованных данных, препарат Авердез представляет собой «жидкую многокомпонентную композицию действующих и вспомогательных веществ. Входящие в состав Авердез полигунидины, четвертичные аммонийные соли и изопропанол обладают сильным бактерицидным, вирулицидным и фунгицидным действием. В состав препарата входят также соединения макроциклического ряда (авермектины), обладающие инсектицидным, нематоцидным и акарицидным действием в очень низких концентрациях» [4,5,10].

В данный момент проводятся всесторонние испытания препарата, как лабораторные, так и производственные. Наша работа посвящена оценке общетоксического, аллергизирующего, местно-раздражающего действия, что является неотъемлемой частью регистрационных действий наряду с клиническими (производственными) испытаниями.

Доклиническое исследование общетоксического действия лекарственных средств, кормовых добавок, химических средств дезинфекции является неотъемлемой частью разработки и внедрения новых продуктов.

Важным моментом необходимости данного процесса является то, что испытания проводятся как для новых субстанций и готовых препаратов, так и для воспроизведенных продуктов (дженериков). Это крайне необходимо, так как даже при идентичном подборе ингредиентов часть из них может отличаться от оригинала химической чистотой или исходным сырьем, иными параметрами, которые могут повлиять на общетоксическое действие, могут способствовать сенсибилизирующей (аллергизирующей) активности, местно-раздражающему действию.

Как известно, к методам оценки общетоксического действия относят прежде всего оценку острой токсичности для человека при контакте с химическим веществом.

Система классификации химических веществ (не принимая во внимание их природу) предусматривает их деление на классы опасности, от первого (чрезвычайно опасные) до четвертого (малоопасные). Данная классификация предусматривает градацию веществ на основании летальной дозы, вызывающей гибель 50 % лабораторных животных (ЛД50). Оценку проводят по дозированию относительно предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны (сг/м³), при попадании в желудок или нанесении на кожу (мг/кг). Наиболее часто испытания проводят на лабораторных мышах и крысах.

Согласно общим принципам выполнения исследований, описанным в научной литературе и нормативной документации, при проведении доклинических испытаний должны быть соблюдены определенные принципы. «Для токсикологических исследований применяют здоровых половозрелых животных, полученных из сертифицированных питомников и прошедших карантин в течение 10-14 дней. Получение животных от не сертифицированных производителей не допускается. Исследования проводят на нескольких видах животных, причем наряду с грызунами обязательно использовать не грызунов. Для токсикологических исследований рекомендуются мыши, крысы, морские свинки, кролики, собаки, мини-свиньи и обезьяны.

Токсикологические исследования можно проводить как на нелинейных, так и на линейных животных. В последнем случае следует указать линию животных, поскольку чувствительность к токсическому действию может быть генотипически зависима. При прочих равных условиях в исследованиях по определению острой и хронической токсичности предпочтительнее использование аутбредных животных. Исследования проводят на животных обоего пола одного возраста, разброс по исходной массе не должен превышать ± 10 %» [9].

Цель исследований заключалась в оценке аллергизирующего и местно-раздражающего действия дезинфицирующего средства Авердез в опыте на лабораторных животных (доклинический эксперимент).

Исходя из поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Изучить общетоксическое действие препарата Авердез при ингаляционном способе введения лабораторным животным;
2. Оценить аллергизирующее действие препарата Авердез методом накожных аппликаций лабораторным животным;
3. Изучить кожно-резорбтивные и раздражающие свойства препарата Авердез на лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Токсичность для животных, аллергенные, кожно-резорбтивные и раздражающие свойства дезинфектанта оценивали, руководствуясь методиками, описанными в руководствах и методических указаниях [6,7].

Доклинические исследования проводили на лабораторных животных, в условиях лабораторий МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина и ФГБОУ ВО РГАТУ.

Определение ингаляционной токсичности пре-

парата проводили на лабораторных белых крысах массой 180-200 г в герметичном эксикаторе, в котором раствор Авердеза свободно испарялся в течение суток. Подопытных крыс на 2 часа помещали в подготовленный эксикатор и по ходу опыта контролировали состояние животных.

Количественную оценку выраженности аллергизирующих и других показателей безвредности препарата проводили исходя из методических подходов, приведенных в работах [6-9].

Местно-раздражающее действие препарата оценивали путем нанесения его на конъюнктиву глаза подопытных кроликов (возраст 4 месяца, живая масса 2,3-2,8 кг). Растворы препарата в концентрациях 0,5 %, 1 %, 2 % и 4 % наносили стеклянной глазной палочкой. В процессе опыта контролировали состояние роговицы, выраженность отека и гиперемии конъюнктивы, наличие выделений из глаза.

Кожно-резорбтивное и аллергизирующее действие оценивали методом кожных аппликаций на морских свинках. Животным опытной группы на выстриженный непигментированный участок кожи боковой поверхности туловища размером 2×2 см были нанесены 20 повторных накожных аппликаций препарата Авердез в разведении 1:100, 5 раз в неделю. Животным контрольной группы наносился физиологический раствор в аналогичном количестве. При ежедневном клиническом осмотре проводили оценку внешних проявлений, характерных для аллергической реакции. При наличии внешних проявлений проводили их балльную оценку – от 0 до 4 баллов.

Цифровые данные, полученные в ходе исследований, подвергали статистической обработке. В связи с тем что в моделях, использованных в данной работе, мы задействовали малую выборку (до 30 голов в группе), наиболее целесообразно было использовать критерий Манна-Уитни как один из критериев непараметрической статистики, наиболее полноценно отражающих выявленные различия [11, 12].

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки ингаляционной токсичности раствор Авердеза предварительно в течение суток свободно испарялся. В дальнейшем в данных эксикаторах, насыщенных парами препарата, крысы выдерживали экспозицию в течение 2 часов без существенных изменений в физиологическом состоянии. Из отклонений общего клинического состояния отмечали только нахохливание животных в первый час после ингаляции, периодическое чихание. В дальнейшем при наблюдении данных симптомов не регистрировали. Гибели животных не наблюдали, что указывает на отсутствие летального действия препарата Авердез при его вдыхании лабораторными крысами.

Данные, полученные при изучении местно-раздражающего действия Авердеза путем нанесения его на конъюнктиву глаза подопытных кроликов, свидетельствуют о зависимости степени раздражения от концентрации препарата.

В рекомендуемой для применения рабочей концентрации 1 % препарат не оказывал негативного воздействия на глаза. Наблюдалось незначительное выделение слезной жидкости, которое проходило на вторые сутки.

Аналогичное действие оказывал препарат и при 3 %-й концентрации. Умеренное раздражение конъюнктивы (рис. 1) наблюдалось при нанесении 5 %-го раствора препарата (табл. 1), что, видимо, связано с содержанием изопропилового спирта в его составе.

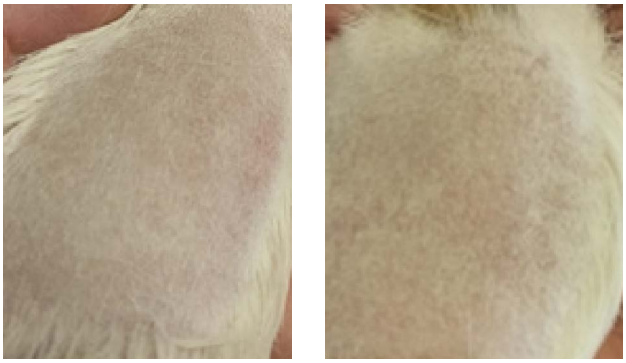
В течение всего времени эксперимента подопытные кролики находились в нормальном, не угнетенном физиологическом состоянии, проявляли хороший интерес к корму, пили воду.

Таблица 1 – Оценка выраженности раздражающего действия Авердез на глаза кроликов

Концентрация рабочего раствора	балл		Сумма баллов	Класс опасности
	конъюнктива	роговица		
0,5 %	1	0	1	4
1,0 %	2	0	2	4
3,0 %	2	1	3	4
5,0 %	4	1	5	3

Рис. 1 – Умеренное раздражение конъюнктивы при нанесении 5 %-го раствора препарата Авердез
Fig. 1 – Moderate irritation of the conjunctiva when applying a 5 % solution of Averdez.

При ежедневной клинической оценке установлено, что в местах нанесения препарата поверхность кожи остается практически без существенных изменений (рис. 2). Небольшое покраснение отмечали после удаления шерсти с места нанесения препарата Авердез. Это связано с механическим раздражением на фоне вибрации и трения ножей о поверхность кожи. Данное покраснение проходило в течение 1 часа после подготовки поля для проведения манипуляции.



А Б

Рис. 2 – Результаты оценки местно-раздражающего действия препарата Авердез методом накожного нанесения морским свинкам (А – контрольная группа; Б – опытная группа 4)
Fig. 2 – Results of the evaluation of the local irritant effect of the drug Averdez by cutaneous application to guinea pigs (A – control group; B – experimental group 4)

Как показали результаты замеров, толщина складки у морских свинок контрольной группы на первой контрольной точке учета данных (после выполнения 10 аппликаций) в среднем составляла 1,2 мм. А у морских свинок 1-3 опытных групп, получавших аппликации в концентрациях препарата Авердез 0,5, 1 и 3 %, соответственно, толщина кожной складки не имела статистически значимой разницы с контрольной группой и составляла 1,18, 1,34 и 1,24 %. В свою очередь, нами было отмечено некоторое утолщение кожной складки, на 23,3 %, превышающее аналогичный показатель у морских свинок опытной группы 4 (концентрация препарата Авердез – 5 %), в сравнении с животными контрольной группы, однако только на уровне тенденции по результатам статистической оценки, что нельзя расценивать как положительную кожную реакцию. Продолжение опыта показало аналогичные результаты.

Таблица 2 – Толщина кожной складки кроликов при нанесении препарата Авердез, мм (M±m)

Контрольная точка (количество аппликаций к моменту учета)	Контроль	Концентрация препарата, %			
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
		0,5	1	3	5
10	1,12±0,24	1,18±0,04	1,34±0,28	1,24±0,15	1,48±0,16*
20	1,26±0,13	1,28±0,13	1,26±0,15	1,32±0,15	1,44±0,13*

Примечание: * – 0,05<p<0,1 в сравнении с контрольной группой

В процессе клинического наблюдения за морскими свинками не было выявлено изменений общего состояния, поведения. Животные были активны, интереса к выстриженному участку тела не проявляли, не вылизывали, зуда также отмечено не было. Не было выявлено также изменения массы тела, количества потребляемого корма и воды. Это свидетельствуют об отсутствии у препарата способности проникать через кожу и вызывать интоксикацию организма.

Заключение

Как показали результаты оценки потенциального токсического действия, препарат Авердез не оказывает негативного действия, приводящего к значительным клинически выраженным проявлениям при ингаляционном введении крысам. Легкие симптомы раздражающего верхние дыхательные пути действия (чихание) проходят в течение 1 часа. При введении препарата Авердез под верхнее веко также отмечено отсутствие выраженного местно-раздражающего действия препарата на конъюнктиву глаз подопытных кроликов. При нанесении на кожу морским свинкам препарат Авердез в указанных выше концентрациях не вызывает отека, эритемы, трещин, сухости и др. симптомов, характерных для аллергизирующего или местно-раздражающего действия. Испытания были проведены на морских свинках-альбиносах, которых относят к наиболее чувствительным из лабораторных животных биологическим моделям. Таким образом, анализируя полученные экспериментальные данные по основным показателям безвредности, препарат Авердез можно отнести к 4 классу малоопасных веществ.

Список источников

1. Кочиш, И.И. Совершенствование мер борьбы и общей профилактики колибактериоза птиц при использовании сальмоцида аэрозольным методом / И.И. Кочиш, А.JI. Киселев, Б.Ф. Бессарабов, Н.К. Сушкова // Материалы XVIII Международной конференции. - ВНИТИП, 2015. - С. 469-470.

2. Дорожкин В.И., Эффективность поликомпо-

нентных дезинфектантов в животноводстве/В.И. Дорожкин, М.М. Кулица, М.Н. Мирзаев // Эффективное животноводство, 2021, №8. С.89-92;

3. Фисинин В.И. Микробиологические риски в промышленном птицеводстве и животноводстве/В.И. Фисинин, В.И. Трухачев // Сельскохозяйственная биология - 2018, том 53, № 6, с. 1120-1130.

4. Мирзаев М.Н, Шемякова С.А. Применение препарата Авердез для дезинфекции птицеводческих помещений / Материалы международной научно-практической конференции «Скрябинские чтения», Сборник научных трудов, 2023. С. 110-112.

5. Патент №2630316 Российская Федерация, МПК C07D, C07H, A01N, A61K. Препарат для борьбы с насекомыми-кератофагами / Мирзаева К.М., Земцова Л.К., Джафаров М.Х., Мирзаев М.Н., Заварзин И.В., Мельницкая Т.И. - Заявл. 24.06.2016 г. - Опубл. 07.09.2017 г. – 7 с.

6. Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности (утв. гл. гос. санитарным врачом РФ 04.06.2010 г.).

7. Методические указания. Оценка токсичности и опасности дезинфицирующих средств, МУ 1.2. 1105-02, утверждены 10 февраля 2002 г.

8. Серебряная Н.Б. Тромбоциты как активаторы и регуляторы воспалительных и иммунных реакций. Часть 1. Основные характеристики тромбоцитов как воспалительных клеток / Н.Б. Серебряная, С.Н. Шанин, Е.Е. Фомичева, П.П. Якуцени //Медицинская иммунология. – 2018, Т. 20, № 6. – С. 785-796.

9. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / Под ред. А.Н. Миронова. — М.: Гриф и К, 2012. — 944 с.

10. Мирзаев, М. Н. Аллергенные, местнораздражающие и кожно-резорбтивные свойства препарата Авердез / М. Н. Мирзаев, С. А. Шемякова, Н. В. Есаулова // Материалы Международной научно-практической конференции «Скрябинские чтения», проводимых согласно плану научных мероприятий в рамках десятилетия науки и технологий и посвящённых празднованию 300-летия российской академии наук : сборник научных трудов, Москва, 07–08 июня 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина». – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина», 2023. – С. 112-117. – EDN MZFJWC.

11. Токсикометрия эффективных доз / С. В. Криштопенко, М. С. Тихов. – Н. Новгород, 1997. - 155 с.

12. Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. М.: Медицина, 1975, 290 с.

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

References

1. Kochish, I.I. Sovershenstvovaniye mer bor'by i obshchey profilaktiki kolibakterioza ptits pri ispol'zovanii sal'motsida aerozol'nym metodom / I.I. Kochish, A.JI. Kiselev, B.F. Bessarabov, N.K. Sushkova // Materialy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii. - VNITIP, 2015. - S. 469-470.

2. Dorozhkin V.I., Effektivnost' polikomponentnykh dezinfektantov v zhivotnovodstve/V.I. Dorozhkin, M.M. Kulitsa, M.N. Mirzayev // Effektivnoye zhivotnovodstvo, 2021, №8. S.89-92;

3. Fisinin V.I. Mikrobiologicheskiye riski v promyshlennom ptitsevodstve i zhivotnovodstve/V.I. Fisinin, V.I. Trukhachev // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya - 2018, tom 53, № 6, s. 1120-1130.

4. Mirzayev M.N, Shemyakova S.A. Primeneniye preparata Averdez dlya dezinfektsii ptitsevodcheskikh pomeshcheniy / Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Skryabinskiye chteniya», Sbornik nauchnykh trudov, 2023. S. 110-112.

5. Patent №2630316 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C07D, C07H, A01N, A61K. Preparat dlya bor'by s nasekomymi-keratofagami / Mirzayeva K.M., Zemtsova L.K., Dzhafarov M.KH., Mirzayev M.N., Zavarzin I.V., Mel'nitskaya T.I. - Zayavl. 24.06.2016 g. - Opubl. 07.09.2017 g. – 7 s.

6. Metody laboratornykh issledovaniy i ispytaniy dezinfektsionnykh sredstv dlya otsenki ikh effektivnosti i bezopasnosti (utv. gl. gos. sanitarnym vrachom RF 04.06.2010 g.).

7. Metodicheskiye ukazaniya. Otsenka toksichnosti i opasnosti dezinfitsiruyushchikh sredstv, MU 1.2. 1105-02, utverzhdeny 10 fevralya 2002 g.

8. Serebryanaya N.B. Trombotsity kak aktivatory i regulyatory vospalitel'nykh i immunnykh reaktsiy. Chast' 1. Osnovnyye kharakteristiki trombotsitov kak vospalitel'nykh kletok / N.B. Serebryanaya, S.N. Shanin, Ye.Ye. Fomicheva, P.P. Yakutseni //Meditsinskaya immunologiya. – 2018, T. 20, № 6. – S. 785-796.

9. Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv. Chast' pervaya / Pod red. A.N. Mironova. — M.: Grif i K, 2012. — 944 s.

10. Mirzayev, M. N. Allergennyye, mestnorazdrazhayushchiye i kozhno-rezorbtivnyye svoystva preparata Averdez / M. N. Mirzayev, S. A. Shemyakova, N. V. Yesaulova // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Skryabinskiye chteniya», provodimykh soglasno planu nauchnykh meropriyatiy v ramkakh desyatiletiya nauki i tekhnologiy i posvyashchonnykh prazdnovaniyu 300-letiya rossiyskoy akademii nauk : sbornik nauchnykh trudov, Moskva, 07–08 iyunya 2023 goda / Ministerstvo sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii; Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya

«Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny i biotekhnologii - MVA imeni K.I. Skryabina». – Moskva: Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny i biotekhnologii - MVA imeni K.I. Skryabina», 2023. – S. 112-117. – EDN MZFJWC.

11. Toksikometriya effektivnykh doz / S. V. Krishtopenko, M. S. Tikhov. – N. Novgorod, 1997. - 155 s.

12. Urbakh V.YU. Statisticheskiy analiz v biologicheskikh i meditsinskikh issledovaniyakh. M.: Meditsina, 1975, 290 s

Contribution of the authors:
All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Шемякин Виктор Борисович, *аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», csgovita@yandex.ru*

Сайтханов Эльман Олегович, *канд. биол. наук, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы, хирургии, акушерства и внутренних болезней животных, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», elmanrzn@gmail.com*

Мирзаев Микаиль Нурбагандович, *д-р биол. наук, профессор кафедры иммунологии и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К. И. Скрябина», cianid1945@yandex.ru*

Бессарабова Екатерина Валерьевна, *канд. вет. наук, доцент кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К. И. Скрябина», ebessarabova@yandex.ru*

Author Information

Shemyakin Viktor B., *postgraduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, csgovita@yandex.ru*

Saythanov Elman O., *Candidate of Biological sciences, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Surgery, Obstetrics and Internal Diseases of Animals, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, elmanrzn@gmail.com*

Mirzaev Mikail N., *Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Immunology and Biotechnology, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K. I. Scriabin, cianid1945@yandex.ru*

Bessarabova Ekaterina V., *Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K. I. Scriabin, ebessarabova@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 09.11.2024; одобрена после рецензирования 09.12.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 09.11.2024; approved after reviewing 09.12.2024; accepted for publication 12.12.2024.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 78-85
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.78-85

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631
DOI: 10.36508/RSATU.2024.17.10.012

ОПТИМАЛЬНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЛАНТАЦИЯХ ХМЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Владимир Петрович Филиппов [1], Сергей Анатольевич Васильев [2]✉, Виктор Васильевич Алексеев [3], Евгений Альбертович Максимов [4], Алексей Николаевич Бачурин[5]

[1,3,4] ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Россия
[5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] filippov_v_p@mail.ru
[2] vsa_21@mail.ru
[3] av77@list.ru
[4] 89063830541@yandex.ru
[5] bachurin62@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Цель настоящего исследования – описать решение задач оптимизирования передвижения сельскохозяйственной техники по хмельникам и между хмельниками для условий агроландшафта склоновых земель.*
Методология. *Построение полного трека разделялось на два этапа. На первом этапе выполнялся «грубый» подбор, на втором «уточненный». Для первичной оценки использовался широко известный метод TSP (Travelling Salesman Problem), в качестве вершин которого выступают некоторые абстрактные точки, характеризующие положение хмельников, сушилок, машинно-тракторного парка и т.д. Второй алгоритм определял трек с множественными разворотами внутри хмельника и переходы между теми хмельниками, которые вычислялись на первом этапе. Для задачи поиска оптимального пути использовался метод целочисленной оптимизации – алгоритм A star, поскольку задание можно представить в виде графа из наиболее эффективных и гибких алгоритмов поиска пути.*
Результаты. *В результате исследования, направленного на изучение особенностей поиска решений с использованием предложенного алгоритма, установлено, что все допустимые для перемещения техники точки хмельника составляли массив. Между каждыми соседними парами точек задавались такие характеристики как расстояние, потери топлива или времени на прохождение техники между ними. Решение сводилось к поиску минимума функции условных затрат на множествах точек, составляющих траектории движения. Для каждой траектории вычисляли величину, кумулятивно характеризующую затраты. При этом минимизировалось общее число разворотов и возможные длины участков, по которым осуществлялся неоднократный проезд.*
Заключение. *Результаты исследования позволили автоматически рассчитать траектории движения техники для различных типов операций и начальных условий, причем для ускорения вычислений и сокращения времени построения оптимизированных треков реализована многопоточность вы-*

© Филиппов В.П., Васильев С.А., Алексеев В.В., Максимов Е.А., Бачурин А.Н., 2024 г.

числений на современных многоядерных процессорах.

Ключевые слова: *оптимальное функционирование, сельскохозяйственная техника, плантация хмеля, интеллектуальные технологии*

Для цитирования: *Филиппов В.П., Васильев С.А.,Алексеев В.В., Максимов Е.А., Бачурин А.Н. Оптимальное функционирование сельскохозяйственной техники на плантациях хмеля с применением интеллектуальных технологий // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024. Т.16, №4. С.78-85 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.17.10.012*

Original article

OPTIMAL FUNCTIONING OF AGRICULTURAL MACHINERY ON HOP PLANTATIONS USING INTELLIGENT TECHNOLOGIES

Vladimir P. Filippov [1], Sergey A. Vasilyev [2]✉, Viktor V. Alekseev [3], Evgeny A. Maksimov [4], Alexey N. Bachurin [5]

[1,3,4] Chuvash State University Named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia
[2] Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia
[5] Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1] filippov_v_p@mail.ru
[2] vsa_21@mail.ru
[3] av77@list.ru
[4] 89063830541@yandex.ru
[5] bachurin62@mail.ru

Abstract.
Problem and purpose. *The purpose of this study was to describe the solution to the problems of optimizing the movement of agricultural machinery through and between hop fields for the conditions of the agricultural landscape of sloping lands.*
Methodology. *The construction of the complete track was divided into two stages. At the first stage, a "rough" selection was performed, at the second, a "refined" one. For the initial assessment, the well-known TSP (Traveling Salesman Problem) method was used, the vertices of which are some abstract points characterizing the position of hoppers, dryers, machine and tractor parks, etc. The second algorithm determined the track with multiple reversals inside the hop and the transitions between those hop that were calculated at the first stage. For the task of finding the optimal path, the integer optimization method, the A star algorithm, was used, since the task can be represented as a graph of the most efficient and flexible pathfinding algorithms.*
Results. *As a result of the research aimed at studying the features of the search for solutions using the proposed algorithm, it was assumed that all the points of the chmelnik allowed for moving the technique were an array. Between each adjacent pair of points, characteristics such as distance, fuel loss, or time for passing equipment between them were set. The solution was to find the minimum of the conditional cost function on the sets of points that make up the trajectory. For each trajectory, a value was calculated that cumulatively characterizes the costs. At the same time, the total number of U-turns and the possible lengths of sections through which repeated travel was carried out were minimized.*
Conclusion. *The results of the study made it possible to automatically calculate the trajectories of equipment for various types of operations and initial conditions, and to speed up calculations and reduce the time to build optimized tracks, multithreading calculations on modern multicore processors were implemented.*

Key words: optimal functioning, agricultural machinery, hop plantation, intelligent technologies

For citation: *Filippov V.P., Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Maksimov E.A., Bachurin A.N. Optimal functioning of agricultural machinery on hop plantations using intelligent technologies // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024. Vol.16, No.4. P.78-85 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.17.10.012*

Введение

Чувашия является самым северным регионом в мире, где выращивается хмель [1]. Благодаря тому, что в Чувашской Республике хмельники преимущественно закладываются в непосредственной близости к водоемам, низинам или поймам рек, решается сразу несколько проблем [2]:

– из-за более низкой температуры резко сокращается число вредителей, следовательно, выращенный в ЧР хмель является более экологически чистым, поскольку обрабатывается от вредителей только дважды за вегетационный период;

– из-за особенностей расположения хмельника создается повышенная влажность воздуха и нагрузка, лежащая на искусственном орошении, в ряде случаев может в существенной мере компенсироваться естественным орошением.

Однако стоит отметить, что выращивание хме-

ля в условиях Чувашской республики имеет и ряд трудностей, обусловленных сложным рельефом. Это сказывается не только на росте и развитии растений, но и логистике технологических процессов.

Особенности рельефа могут приводить к неравномерности освещения – затенению или избыточному освещению отдельных участков хмельника [2], что решается использованием агровольтаики. На склонах одновременно может наблюдаться избыточное увлажнение или, наоборот, недостаток влаги. Это значит, что требуется принятие дополнительных мер по регулированию водного режима [3], т.е. для дальнейшего повышения урожайности требуется более сложная система полива, увеличивающая затраты на возделывание хмеля. Склоновый изрезанный рельеф требует осторожности при проведении механизированных работ, поскольку имеется повышенная опасность развития эрозионных процессов и потери плодородного слоя.

Для решения этих проблем разработана система специализированных малогабаритных трансформируемых машин и орудий, адаптированных к работе на хмельниках [4]. Рельеф, в сочетании с особенностями устройства хмельников, ограничивает возможность применения некоторых агрегатов, затрудняет передвижение техники, снижает ее производительность, так как требует более аккуратного и медленного движения.

Алгоритмы планирования пути являются критически важными технологиями для мобильных энергетических средств. В сложных условиях поиск оптимального пути для быстрого, эффективного и стабильного удовлетворения спроса является одной из проблем планирования пути в настоящее время. Алгоритмы планирования пути также широко используются в автономном вождении тракторов и в многофункциональном взаимодействии сельскохозяйственной техники [5]. Эффективные алгоритмы планирования пути могут стабильно находить оптимальный или субоптимальный путь, повышать эффективность работы мобильных энергетических средств и снижать эксплуатационные расходы. Поэтому изучение алгоритма пути имеет большое значение и актуальность.

Алгоритмы планирования пути включают: традиционные алгоритмы планирования пути, эвристические интеллектуальные алгоритмы планирования пути, алгоритмы планирования пути на основе выборки и алгоритмы планирования пути на основе искусственного интеллекта. Традиционные алгоритмы планирования пути включают алгоритм A*, алгоритм Дейкстры и алгоритм D*. Эвристические интеллектуальные алгоритмы планирования пути включают генетические алгоритмы, алгоритмы муравьиной колонии, алгоритмы роя частиц и другие [6]. Алгоритмы планирования пути на основе выборки включают быстрое рандомизированное дерево поиска (РДП) [7]. Алгоритмы планирования пути искусственного интеллекта включают нейронные сети, обучение с подкреплением и «умную» навигацию [8].

Каждый алгоритм имеет неоспоримые преимущества и неизбежные недостатки. Хотя алгоритмы планирования пути на основе выборки генерируют пути с избыточными узлами и нестабильным качеством пути, они могут быстро искать в пространстве конфигурации и не ограничены сложностью объекта. РДП выделяется как распространенный алгоритм планирования пути на основе выборки благодаря своим минимальным требованиям к параметрам, простой конструкции и обеспечению вероятностной полноты.

Однако не менее важно тщательное планирование треков движения техники, поскольку оно позволяет повысить эффективность механизации работ на хмельнике, расположенном на сложном рельефе.

Для улучшения качества маршрутов и стабильности генерации качественных путей предложили алгоритм Quick-РДП (Q-РДП) [9]. Этот алгоритм использует тактику обрезки, основанную на треугольном неравенстве, чтобы минимизировать избыточные узлы и повысить качество пути. Ученые в работе [10] предложили алгоритм PQ-РДП, объединив преимущества Q-РДП и P-РДП, который вводит искусственное потенциальное поле при использовании стратегии обрезки, основанной на треугольных неравенствах, для улучшения качества пути и достижения хороших экспериментальных результатов.

Однако ни один из этих методов улучшения качества пути не перемещает существующие узлы ветвления дерева поиска, а только удаляет избыточные точки на существующих узлах ветвления, что может быть более эффективным для повышения качества пути в сложных средах. Исследователи в [11] предложили алгоритм F-РДП для оптимизации качества пути путем перемещения узлов ветвления в направлении соседних узлов в соответствии с шагом выборки и постоянного использования подхода обрезки на основе треугольного неравенства, чтобы сделать путь ближе к препятствиям. Хотя эти методы могут улучшить качество оптимальных путей, пути, полученные в нескольких экспериментах, неровные, а устойчивость алгоритма низкая. В статье [12] предложили алгоритм CCPF-РДП, вводя искусственное потенциальное поле в алгоритм F- РДП. Эти методы могут улучшить результат оптимальных маршрутов, но итоговый результат путей, полученных в нескольких экспериментах, различается, а алгоритм имеет низкую устойчивость.

Основная цель оптимизации треков заключается в повышении производительности, точности и надежности построения треков движения в реальном времени. Одновременно за счет уменьшения числа повторных проездов по одним и тем же участкам идет снижение уплотняющей почвы антропогенной нагрузки.

Материалы и методы исследования

Построение полного трека разделяется на два этапа. На первом этапе идет «грубый» подбор, на втором «уточненный». Для первичной оценки используется широко известный метод TSP (Travelling Salesman Problem) [13], в качестве вершин которого выступают некоторые абстрактные точки, характеризующие положение хмельников,

сушилок, машинно-тракторного парка и т.д. Поскольку таких точек немного, задача коммивояжера легко решается методом перебора. При этом необходимо помнить, что алгоритмическая сложность данного подхода к решению высокая. Это связано с тем, что алгоритмы, имеющие факториальную сложность, работают достаточно медленно. Если, например, при наличии пяти вершин достаточно перебрать (в зависимости от топологии графа $(n-1)!$ маршрутов для асимметричной и $(n-1)!/2$ для симметричной задачи) порядка двадцати-тридцати маршрутов, то для 10 вершин – порядка сотен тысяч маршрутов, для 20 – миллиардов маршрутов.

Поэтому после проведения первичного «грубого» решения с малым числом вершин запускается второй алгоритм. Он уже определяет трек с множественными разворотами внутри хмельника и переходы между теми хмельниками, которые вычислялись на первом этапе. Для задачи поиска оптимального пути предлагается использовать методы целочисленной оптимизации, в частности, алгоритм A star. Поскольку, как уже было показано, задание можно представить в виде графа, то A star является одним из наиболее эффективных и гибких алгоритмов поиска пути. Он работает на базе уже полученного решения и позволяет использовать дополнительную информацию о задаче в виде эвристической функции, что адаптирует алгоритм к специфике конкретной задачи и сокращает пространство поиска. Это особенно важно для расчетов в реальном времени, так как A star эффективно использует память, храня только те вершины, которые еще предстоит обработать.

Формализация задачи поиска решения с использованием предложенного алгоритма возможна благодаря разделению трека на множество различных областей, обладающих определенным «весом» или «ценой», связанным с условиями эксплуатации техники. Обычно эти области определяются геометрией трека, т.е. наличием разворотов, протяженностью, повторностью проезда по одним и тем же участкам и пр. Для каждой характерной точки траектории и всех соседних точек задается «цена» перехода. После формализации задачи эвристическая функция учитывает «вес/цену» всех возможных переходов от начального места нахождения техники к конечному.

Результаты исследований и их обсуждение

Все допустимые для перемещения техники точки хмельника составляют массив. Между каждыми соседними парами точек задаются такие характеристики как расстояние, потери топлива или времени на прохождение техники между ними. Решение сводится к поиску минимума функции ($E \to \min$) условных затрат на множествах точек, составляющих траектории движения. Для каждой траектории необходимо вычислить величину, кумулятивно характеризующую затраты:

$$Ek = E_{k-1} + \Delta E_k \to \min,$$

где ΔE_k – затраты при движении от (k-1) до k-й точки;

E_{k-1} – общие затраты к моменту достижения k-й точки;

E_k – общие затраты к моменту пересечений k-й точки.

При этом минимизируется общее число разворотов и возможные длины участков, по которым осуществляется неоднократный проезд. Это осуществляется путем придания таким точкам большего «веса» при расчете кумулятивных затрат. При рассмотрении массива полученных решений, отбираются несколько, соответствующих минимальным значениям. Окончательный выбор в пользу того или иного решения, при равных прочих условиях, позволяет осуществить визуализация решений.

Требования к программному средству: на данном этапе разработки треки должны соответствовать заранее рассчитанному для каждого типа операции маршруту (который существенно меняется в зависимости от типа работ и вида посадки рядами или междурядьями). В дальнейшем алгоритм планируется расширить на случаи прерывания трека и его перестройку под изменившиеся планы работы. Результат работы программного средства приведен на рисунке 1.

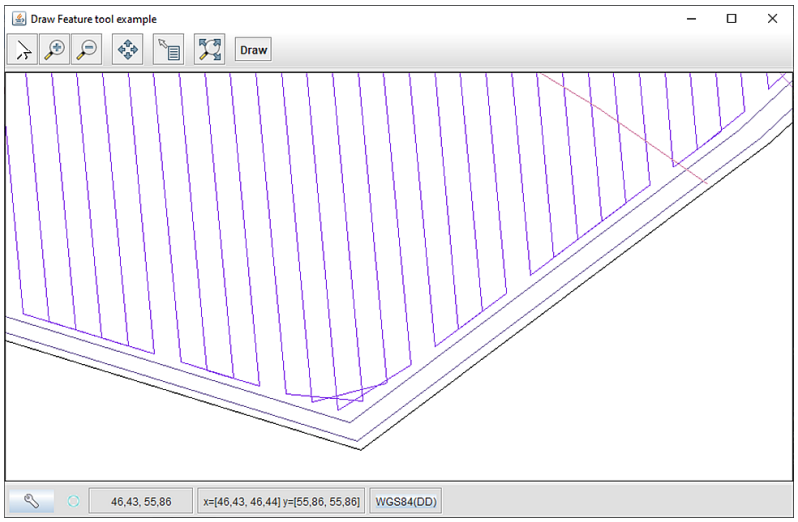


Рис. 1 – Отработка алгоритмом различных типов движения
Fig. 1 – Working out algorithms for various types of movement

Критериями оптимизации задаются:

- тип операции, выполняющий работу агрегат,
- число единиц техники,
- число участков,
- места, где треки заданий начинаются и завершаются.

Алгоритм позволяет создавать аналоги основным типам движения (например, вспашки: челночный, всвал, вразвал, перекрытием, комбинированный, круговой и пр.).

Ниже показано, что для тех случаев, когда допустимо комбинирование типов движения (на примере обработки почвы в хмельнике, рис.2.),

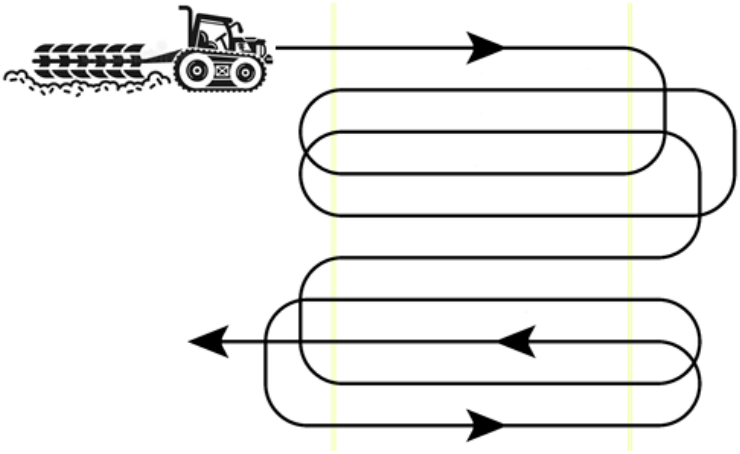


Рис.2 – Обработка почвы с удлиненным машинно-тракторным агрегатом
Fig.2 – Tillage with an elongated machine-tractor unit

Алгоритм может подобрать точку выхода из хмельника такую, когда переход на следующий участок происходит с минимальным транспортным проходом, при котором технологическая операция не выполняется (рис.3.).

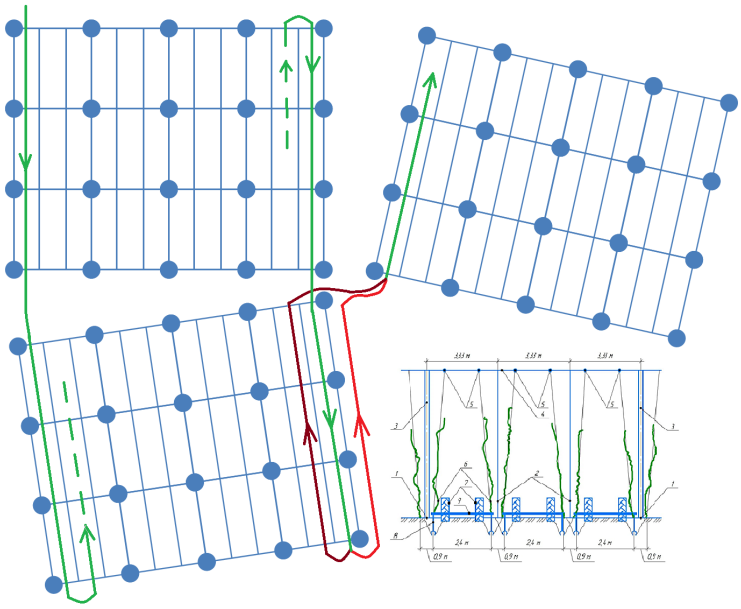


Рис.3 – Переезд между хмельниками с минимальным транспортным проходом
Fig.3 – Moving between khmelniki with minimal traffic passage

На выходе алгоритма имеем следующие данные:

- треки движения для каждой единицы СХТ в виде массивов точек;
- точки входа каждой единицы СХТ на хмельник;
- расчетное время выполнения каждого задания;
- расчетное суммарное время работы каждой единицы СХТ с учетом разворотов и перемещений между заданиями;
- расчетное суммарное время выполнения всей операции.

Реализация алгоритма автоматического расчета траектории движения техники для различных типов операций и начальных условий проводилась на хмельниках в Вурнарском районе Чувашской Республики (рис.4). В качестве машинно-тракторного агрегата был принят трактор ДТ-75 с окучником для выполнения агротехнического приема – окучивания хмеля. Площадь, занимаемая группой хмельников, составляет 22 га.

Территория ООО «Агрохмель» расположена в Центральном Межцивильском эрозионном районе Чувашской Республики. Она характеризуется пологими и слабо наклонными склонами с северной,

юго-восточной и южной ориентацией, крутизна которых варьируется от 1 до 5 градусов. Глубина местного базиса эрозии достигает 70 метров, что способствует активному развитию водной эрозии.

Согласно обследованию почв на территории ООО «Агрохмель» встречаются следующие типы почв: 1) подзолистые; 2) серые лесные; 3) аллювиально-дерновые кислые; 4) овражно-балочный комплекс. Основным типом почвенного покрова на данной территории являются серые лесные почвы, которые составляют 70,1 %. По механическому составу преобладают тяжелосуглинистые почвы (37,0 %) и глинистые почвы (25,5 %).

Данные, полученные из 10 экспериментов, демонстрируют эффективность и стабильность разработанного алгоритма при поиске оптимальных путей по среднему, стандартному отклонению и минимальным значениям. Среднее количество итераций доказывает, что алгоритм может выводить допустимые пути за меньшее количество итераций. Функциональность стратегий оптимизации продемонстрирована в исследовании абляции: позволяет дереву поиска обходить края препятствий в процессе поиска, что сокращает количество итераций и одновременно повышает качество пути, заметно в средах с большим количеством препятствий; улучшенная стратегия поиска по двум деревьям значительно сокращает количество требуемых итераций и повышает скорость сходимости; использование метода целочисленной оптимизации оптимизирует результаты пути и повышает стабильность результатов алгоритма.

Рис.4 – Реализация переезда между хмельниками с минимальным транспортным проходом на тракторе ДТ-75 в агрегате с окучником
Fig.4 – Implementation of the move between the Khmelniki with a minimum transport passage on the DT-75 tractor in an aggregate with a hoe

Также установлено: благодаря уменьшению числа повторных проездов машинно-тракторного агрегата по одним и тем же участкам существенно снизились уплотнение суглинистых почвы и антропогенная нагрузка на хмельники.

Заключение

С целью решения задач оптимизирования передвижения сельскохозяйственной техники по хмельникам и между хмельниками для условий агроландшафта склоновых земель использовался метод целочисленной оптимизации – алгоритм A star, поскольку задание можно представить в виде графа из наиболее эффективных и гибких алгоритмов поиска пути.

В результате исследования, направленного на изучение особенностей поиска решений с использованием предложенного алгоритма, установлено, что все допустимые для перемещения техники точки хмельника составляли массив. Между каждыми соседними парами точек задавались такие характеристики как расстояние, потери топлива или времени на прохождение техники между ними. Решение сводилось к поиску минимума функции условных затрат на множествах точек, составляющих траектории движения. Для каждой траектории вычисляли величину, кумулятивно характеризующую затраты. При этом минимизировалось общее число разворотов и возможные длины участков, по которым осуществлялся неоднократный проезд.

В ходе исследований по созданию системы оптимизации перемещения сельскохозяйственных агрегатов по хмельнику были разработаны, программно реализованы и внедрены в тестовом режиме алгоритмы, позволяющие автоматически рассчитывать траектории движения техники для различных типов операций и начальных условий. Для ускорения вычислений и сокращения времени построения оптимизированных треков была реализована многопоточность вычислений на современных многоядерных процессорах.

Список источников

1. Афанасьева, О. Г. Региональные программы как инструмент государственной поддержки развития хмелеводства / О. Г. Афанасьева, Е. А. Иванов, Л. М. Корнилова // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2023. – № 3. – С. 180-185. – EDN DTFOMN.

2. Смирнов, П. А. Обоснование перспективного хмельника по критерию освещенности / П. А. Смирнов, С. Л. Лукаев, М. А. Иванова // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(28). – С. 173-179. – DOI 10.48612/vch/gmb6-uhkd-demt. – EDN IXLAIQ.

3. Распространение вирусных инфекций в сортовых посадках хмеля / Л. П. Хлебова, Е. С. Бров-

ко, О. Н. Мироненко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 1. – С. 35-39. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_1_35. – EDN CDYFDN.

4. Смирнов, П. А. Расчет защитной зоны в междурядье хмельника / П. А. Смирнов // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(24). – С. 112-117. – DOI 10.48612/vch/bgmv-5fbk-6vz7. – EDN VRHGCI.

5. An improved RRT* algorithm for mobile robots path planning / C. Qiming, M. Wang // / China Automation Congress. – 2022. - 4334-4339.

6. Mobile Robot Path Planning Based on Improved Elite Ant Colony Algorithm / Y. Kaiying, B. Xu // 8th International Conference on Robotics, Control and Automation. – 2024. - 63-67.

7. Zuo, Guoyu et al. An Improved RRT Algorithm Based on Heuristic Function Strategy for Manipulator Path Planning." 2024 43rd Chinese Control Conference (CCC) (2024): 3030-3035.

8. Lei, Zihan et al. "Manipulator Path Planning based on RRT-Connect with fused Artificial Potential Field." 2024 43rd Chinese Control Conference (CCC) (2024): 4687-4692.

9. Ye, Lei et al. Improving path planning for mobile robots in complex orchard environments: the continuous bidirectional Quick-RRT* algorithm // Frontiers in Plant Science. – 2024. – 15. - n. pag.

10. Li, Yanjie et al. PQ-RRT*: An improved path planning algorithm for mobile robots // Expert Syst. Appl. – 2020. – 152. - 113425.

11. Xu, Xing et al. Unmanned Aerial Vehicle Path-Planning Method Based on Improved P-RRT* Algorithm // Electronics. – 2023. - n. pag.

12. F-RRT*: An improved path planning algorithm with improved initial solution and convergence rate / B. Liao, F. Wan, Y. Hua, M. Ruirui, S. Zhu., X. Qing // Expert Systems With Applications.- 2021. - 184:115457. - doi: 10.1016/J.ESWA.2021.115457.

13. Alobaedy, M. M. Distributed Multi-Ant Colony System Algorithm using Raspberry Pi Cluster for Travelling Salesman Problem / M. M. Alobaedy, A. A. Khalaf, Y. Fazea // Iraqi Journal of Science. – 2022. – P. 4067-4078. – DOI 10.24996/ijs.2022.63.9.35. – EDN ZOOSPO.

14. Philippov, V. P. Taking into account terrain slopes when constructing optimized trajectories of agricultural machinery / V. P. Philippov, V. V. Alekseev, S. A. Vasiliev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 032006. – DOI 10.1088/1755-1315/981/3/032006. – EDN DKFYKN.

15. Alekseev, V. Computation of optimized agricultural machinery tracks during field work / V. Alekseev, S. Vasiliev, V. Philippov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 17–18 июня 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 848. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 12173. – DOI 10.1088/1755-1315/848/1/012173. – EDN FFQLTS.

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

References

1. Afanas'eva, O. G. Regional'nye programmy kak instrument gosudarstvennoj podderzhki razvitiya hmelevodstva / O. G. Afanas'eva, E. A. Ivanov, L. M. Kornilova // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. – 2023. – № 3. – S. 180-185. – EDN DTFOMN.

2. Smirnov, P. A. Obosnovanie perspektivnogo hmel'nika po kriteriyu osveshchennosti / P. A. Smirnov, S. L. Lukaev, M. A. Ivanova // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 1(28). – S. 173-179. – DOI 10.48612/vch/gmb6-uhkd-demt. – EDN IXLAIQ.

3. Rasprostranenie virusnyh infekcij v sortovyh posadkah hmelya / L. P. Hlebova, E. S. Brovko, O. N. Mironenko [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2024. – T. 38, № 1. – S. 35-39. – DOI 10.53859/02352451_2024_38_1_35. – EDN CDYFDN.

4. Smirnov, P. A. Raschet zashchitnoj zony v mezhduryad'e hmel'nika / P. A. Smirnov // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 1(24). – S. 112-117. – DOI 10.48612/vch/bgmv-5fbk-6vz7. – EDN VRHGCI.

5. An improved RRT algorithm for mobile robots path planning / C. Qiming, M. Wang // / China Automation Congress. – 2022. - 4334-4339.*

6. Mobile Robot Path Planning Based on Improved Elite Ant Colony Algorithm / Y. Kaiying, B. Xu // 8th International Conference on Robotics, Control and Automation. – 2024. - 63-67.

7. Zuo, Guoyu et al. An Improved RRT Algorithm Based on Heuristic Function Strategy for Manipulator Path Planning." 2024 43rd Chinese Control Conference (CCC) (2024): 3030-3035.

8. Lei, Zihan et al. "Manipulator Path Planning based on RRT-Connect with fused Artificial Potential Field." 2024 43rd Chinese Control Conference (CCC) (2024): 4687-4692.

9. Ye, Lei et al. Improving path planning for mobile robots in complex orchard environments: the continuous bidirectional Quick-RRT algorithm // Frontiers in Plant Science. – 2024. – 15. - n. pag.*

10. Li, Yanjie et al. PQ-RRT: An improved path planning algorithm for mobile robots // Expert Syst. Appl. – 2020. – 152. - 113425.*

11. Xu, Xing et al. Unmanned Aerial Vehicle Path-Planning Method Based on Improved P-RRT* Algorithm // Electronics. – 2023. - n. pag.

12. F-RRT*: An improved path planning algorithm with improved initial solution and convergence rate / B. Liao, F. Wan, Y. Hua, M. Ruirui, S. Zhu., X. Qing // Expert Systems With Applications.- 2021. - 184:115457. - doi: 10.1016/J.ESWA.2021.115457.

13. Alobaedy, M. M. Distributed Multi-Ant Colony System Algorithm using Raspberry Pi Cluster for Travelling Salesman Problem / M. M. Alobaedy, A. A. Khalaf, Y. Fazea // Iraqi Journal of Science. – 2022. – P. 4067-4078. – DOI 10.24996/ijs.2022.63.9.35. – EDN ZOOSPO.

14. Philippov, V. P. Taking into account terrain slopes when constructing optimized trajectories of agricultural machinery / V. P. Philippov, V. V. Alekseev, S. A. Vasiliev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnodar, November 18-20, 2021. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 032006. – DOI 10.1088/1755-1315/981/3/032006. – EDN DKFYKN.

15. Alekseev, V. Computation of optimized agricultural machinery tracks during field work / V. Alekseev, S. Vasiliev, V. Philippov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, June 17-18, 2021 / Krasnodar Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 848. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 12173. – DOI 10.1088/1755-1315/848/1/012173. – EDN FFQLTS.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Филиппов Владимир Петрович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», filippov_v_p@mail.ru

Васильев Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, зав. кафедрой робототехники и прикладной механики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»; профессор кафедры технического обслуживания, организация перевозок и управление на транспорте, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», vsa_21@mail.ru

Алексеев Виктор Васильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», av77@list.ru

Максимов Евгений Альбертович, канд. техн. наук, доцент кафедры робототехники и прикладной механики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», 89063830541@yandex.ru

Бачурин Алексей Николаевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», bachurin62@mail.ru

Author Information

Filippov Vladimir P., PhD, Associate Professor of the Department of Mathematical and Hardware Support of Information Systems, Chuvash State University Named after I.N. Ulyanov, filippov_v_p@mail.ru

Vasiliev Sergey A., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Robotics and Applied Mechanics, Chuvash State University Named after I.N. Ulyanov; Professor of the Department of Technical Maintenance, Transportation Organization and Transport Management, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, vsa_21@mail.ru

Alekseyev Viktor V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Physics, Chuvash State University Named after I.N. Ulyanov, av77@list.ru

Maksimov Evgeny A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Applied Mechanics, Chuvash State University Named after I. N. Ulyanov, 89063830541@yandex.ru

Bachurin Alexey N., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Operation of Machine-Tractor Fleet, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, bachurin62@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 03.12.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 03.12.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 86-92
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 86-92

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.372
DOI: 10.36508/RSATU.2024.78.79.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В СОВРЕМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Никита Сергеевич Жбанов [1] ✉, Никита Евгеньевич Попков[2], Алексей Дмитриевич Чернышев[3], Сергей Иванович Официн[4], Олег Владиленович Кирьяков [5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», Рязань, Россия;

[1] zbanovnikita25@gmail.com
[2] nikita.popkov@mail.ru
[3] aaa777aa62@yandex.ru
[4] s.ofitsin@yandex.ru
[5] Olegkir1971@gmail.com

Аннотация.
Проблема и цель. *Двигатель является основообразующим компонентом любой машины. Широкое применение двигатели получили в автомобилестроении, а также в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности. Особое внимание стоит уделить высокопроизводительным двигателям, используемым в современных тракторах и комбайнах. Наряду с этим интерес представляют используемые в машиностроении высокопроизводительные двигатели Д49. Уменьшение эксплуатационных затрат является одной из главных задач, стоящих перед учеными. Не менее значимым является вопрос повышения мощностных характеристик двигателей. Поставленные задачи возможно решить путем модернизации форкамерного зажигания. Целью исследования было изучение процесса воспламенения топливно-воздушной смеси в современных двигателях.*
Методология. *В эксплуатируемых в настоящий момент двигателях имеет место плохое воспламенение топливно-воздушной смеси; одной из причин этого является не лучшее смесеобразование. Данное обстоятельство приводит к тому, что для взятия мощности, в том числе на переходных режимах работы, в рабочую камеру двигателя подается избыточное количество топлива для получения переобогащенной смеси, чтобы обеспечить наилучшее воспламенение. Это ведет к повышенному расходу топлива при взятии мощности, при этом большая часть топливной смеси выбрасывается вместе с выхлопными газами так и не сгорев. Рассматривая энергию инициации воспламенения топливно-воздушной смеси, стоит отметить ограниченность диапазона, который варьируются в пределах от 0,6 до 1,3 Дж. Для уточнения характеристик современных форкамер, способствующих решению данных проблем, были проведены исследования, направленные на определение скоростных показателей распространения воспламененного газа, а также динамику распределения температурного фронта.*
Результаты. *Установлено, что среднее значение давления в момент воспламенения в исследуемых форкмерах составляет 30 бар, при этом распределение давления по рабочей камере цилиндра происходит по смоделированным векторным траекториям, создающим вихревое воспламенение топливно-воздушной смеси. За счет внутренней геометрии спроектированных форкамер воспламенение происходит наилучшим образом. Конфигурация форкамеры влияет не только на скорость воспламенения топливно-воздушной смеси, но и на скорость перемещения воспламененного газа. У исследуемых форкамер в момент воспламенения были зафиксированы разные показатели скорости движения газа, что обусловлено разницей геометрий спроектированных форкамер. Скорость воспламенения у форкамеры первой конфигурации менялась от 2500 до 3000 м/с. У форкамеры второй конфигурации значение аналогичного параметра находилось в пределах от 600 до 1700 м/с. Особое внимание стоит уделить также скорости на выходе из соплового канала. Можно отметить, что истечение газа, происходящее вследствие перепада давлений по длине патрубка, может характеризоваться как дозвуковой, так и сверхзвуковой скоростью истечения. В выходном сечении соплового канала форкамеры первой конфигурации значение скорости составило 800 м/с; впоследствии она стала постоянной.. Скорость истечения газа из соплового канала форкамеры второй конфигурации составила 1800 м/с и являлась сверхзвуковой. Исходя из данных, полученных в результате*

© Жбанов Н.С., Попков Н.Е., Чернышев А.Д., Официн С.И., Кирьяков О.В., 2024 г.

исследований и расчетов, было установлено, что современные двигатели имеют высокие значения воспламенения газовоздушной смеси и значительно превосходят по данному параметру предшествующие аналоги. Данное превосходство стало возможным благодаря конструкции форкамерного зажигания современных двигателей. Модернизация форкамеры, а именно изменение ее геометрической формы, способна качественно улучшить смесеобразование, что, в свою очередь, позволит обеспечить наилучшее воспламенение газовоздушной смеси, увеличить мощность, повысить полноту сжигания газовоздушной смеси, уменьшить выбросы в атмосферу не отработавших газов.

Ключевые слова: сельскохозяйственное машиностроение, двигатель, форкамерное зажигание

Для цитирования: Жбанов Н.С., Попков Н.Е., Чернышев А.Д., Официн С.И., Кирьяков О.В. Исследование процесса воспламенения топливно-воздушной смеси в современных двигателях // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024. Т.16, №4. С. 86-92 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.78.79.013

Original article

INVESTIGATION OF THE IGNITION PROCESS FUEL-AIR MIXTURES IN MODERN ENGINES

Nikita S. Zhbanov[1]✉, Nikita E. Popkov [2], Alexey D. Chernyshev [3], Sergey I. Officin [4], Oleg V. Kiryakov[5]

[1,2,3,4,5] Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia.

[1] zbanovnikita25@gmail.com
[2] nikita.popkov@mail.ru
[3] aaa777aa62@yandex.ru
[4] s.ofitsin@yandex.ru
[5] Olegkir1971@gmail.com

Annotation.
Problem and purpose. The engine is the main component of any machine. Engines have been widely used in the automotive industry, as well as in the agricultural and processing industries. Special attention should be paid to high-performance engines used in modern tractors and combines. Along with that, high-performance D49 engines used in mechanical engineering are of interest. Reducing operating costs is one of the main tasks facing scientists. Equally important is the issue of increasing the power characteristics of engines. The tasks set can be solved by upgrading the pre-chamber ignition. The purpose of the study was to study the ignition process of the fuel-air mixture in modern engines.
Methodology. In the engines currently in operation, there is a poor ignition of the fuel-air mixture, one of the reasons for this is not the best mixing. This circumstance leads to the fact that in order to take power, including during transient operating modes, an excessive amount of fuel is supplied to the engine's working chamber to obtain a re-enriched mixture to ensure the best ignition. This leads to increased fuel consumption when taking power, despite the fact that most of the fuel mixture is emitted along with the exhaust gases without burning. Considering the ignition energy of the fuel-air mixture, it is worth noting the limited range, which ranges from 0.6 to 1.3 J. To clarify the characteristics of modern pre-chambers contributing to the solution of these problems, studies were conducted aimed at determining the velocity parameters of the spread of ignited gas, as well as the dynamics of the distribution of the temperature front.
Results. It was found that the average pressure at the moment of ignition in the studied forkmeres is 30 bar, while the pressure distribution in the working chamber of the cylinder occurs along modeled vector trajectories that create a vortex ignition of the fuel-air mixture. Due to the internal geometry of the designed pre-chambers, ignition occurs in the best possible way. The configuration of the pre-chamber affects not only the ignition rate of the fuel-air mixture, but also the speed of movement of the ignited gas. At the time of ignition, different gas velocity indicators were recorded for the studied pre-chambers, which is due to the difference in the geometries of the designed pre-chambers. The ignition rate of the pre-chamber of the first configuration varied from 2500 to 3000 m/s. In the pre-chamber of the second configuration, the value of a similar parameter was in the range from 600 to 1700 m/s. Special attention should also be paid to the velocity at the outlet of the nozzle channel. It is worth noting that the gas outflow occurring as a result of the pressure difference along the length of the branch pipe can be characterized by both subsonic and supersonic outflow speeds. In the outlet section of the nozzle channel of the prechamber of the first configuration, the velocity value was 800 m / s, which subsequently became constant and did not change in the process. The gas outflow speed from the nozzle channel of the prechamber of the second configuration was 1800 m / s and was supersonic. Based on the data obtained as a result of research and calculations, it was found that modern engines have high values of ignition of the gas-air mixture and significantly exceed their previous analogues in this parameter. This superiority was made possible by the design of the prechamber ignition of modern engines. Modernization of the pre-chamber, namely, changing its geometric shape, can qualitatively improve mixing, which in turn will ensure the best ignition of the gas-air mixture, increase power, increase the completeness of combustion of the gas-air mixture, reduce emissions of non-exhaust gases into the atmosphere.

Key words: *agricultural machinery, engine, pre-chamber ignition*
For citation: *Zhbanov N.S., Popkov N.E., Chernyshev A.D., Officin S.I.,Kiryakov O.V. Investigation of the ignition process of fuel-air mixture in modern engines // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 86-92 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.78.79.013*

Введение

Уровень технической оснащенности любой отрасли промышленности напрямую влияет на качественные, объемные и временные показатели производства. Важным является внедрение инновационных технологий, способствующих решению существующих проблем и, как следствие, качественному улучшению того или иного процесса.

Двигатель является основообразующим компонентом любой машины. Широкое применение двигатели получили в автомобилестроения, а так же в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности. Особое внимание стоит уделить высокопроизводительным двигателям, используемым в современных тракторах и комбайнах. Наряду с этим интерес представляют используемые в машиностроении высокопроизводительные двигатели Д49. Уменьшение эксплуатационных затрат является одной из главных задач, стоящих перед учеными. Не менее значимым является вопрос повышения мощностных характеристик двигателей. Поставленные задачи возможно решить путем внедрения новых технологий, направленных на повышение эффективности функционирования двигателей и уменьшение потребления топлива [2].

Материалы и методы исследования

Процесс сгорания топливно-воздушной смеси является важнейшим, протекающем в двигателе во время его функционирования [3,4,5]. В результате проведенного анализа трудов современных ученых, занимавшихся исследованиями в данной области, было установлено, что в эксплуатируемых в настоящий момент двигателях имеет место плохое воспламенение топливно-воздушной смеси; одной из причин этого является не лучшее смесеобразование. Данное обстоятельство приводит к тому, что для взятия мощности, в том числе при переходных режимах работы, в рабочую камеру двигателя подается избыточное количество топлива для получения переобогащенной смеси, чтобы обеспечить наилучшее воспламенение. Это ведет к повышенному расходу топлива при взятии мощности, причем большая часть топливной смеси выбрасывается вместе с выхлопными газами, так и не сгорев. [6,7,8]. Рассматривая энергию инициации воспламенения топливно-воздушной смеси, стоит отметить ограниченность диапазона, который варьируются в пределах от 0,6 до 1,3 Дж [9].

Был проведен поиск современных разработок компаний, занимающихся двигателестроением. Было установлено, что описанные ранее проблемы возможно решить за счет модернизации форкамерного зажигания [5]. Наибольший интерес представляют: форкамера двигателя-генератора АО «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» (форкамера конфигурации 1) и форкамера двигателя Научно-технического университета им. короля Абдаллы (форкамера конфигурации 2). Основной задачей было уточнение характеристик современных форкамер для определения путей их дальнейшей модернизации.

Были проведены исследования, направленные на определение скоростных показателей распространения воспламененного газа, а также динамику распределения температурного фронта [10,11,12]. Кроме того, стоит отметить проведенный газодинамический расчет форкамеры, позволивший уточнить показатели, необходимые для дальнейшего проектирования и модернизации форкамерного зажигания.

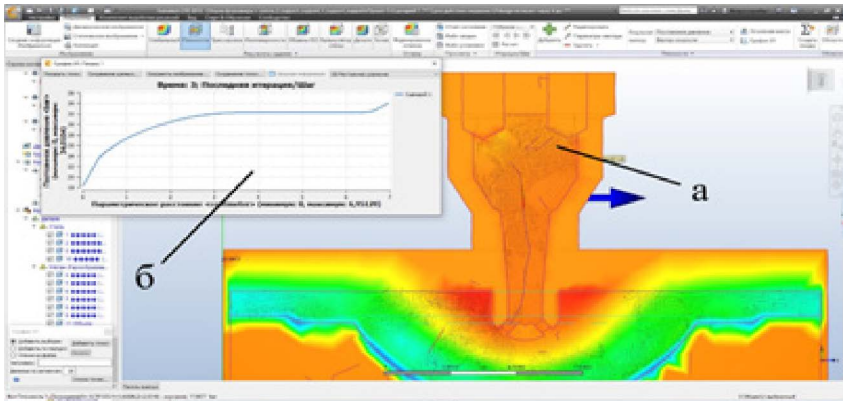
Результаты исследования

Уточнение параметров распределения давления по камере цилиндра 5Д49.78.01 двигателей Д49, а также определение среднего значения давления при воспламенении топливно-воздушной смеси в данном двигателе производилось с учетом: показателя давления воспламенения (при давлении равном 10-50 бар), концентрации газа (0,01 %), температуры воспламенения (2000º С), давления воздуха, поступившего в конце движения поршня (18 бар); также учитывалось соотношение объема форкамеры к объему камеры сжатия. Уровень загрузки цилиндров составляет 40 %, диаметр цилиндра 260 мм, ход поршня 260 мм, 1000 об/мин [5,12,13].

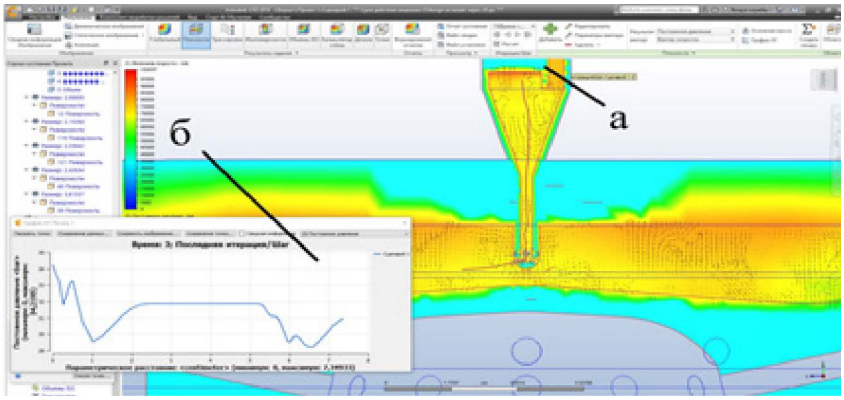
Были смоделированы: форкамеры конфигурации 1 и 2, втулки цилиндра, крышки цилиндра, огневое днище, поршень [10]. Введены соответствующие параметры для расчета. В результате проведенного в программе Autodesk Inventor CFD 2019 расчета были получены данные, представленные на рисунках 1,2.

Анализ графиков 1а и 2а, позволил установить – в момент воспламенения топливно-воздушной смеси среднее давление составило 30 бар, при этом распределение по рабочей камере цилиндра давления происходит по смоделированным векторным траекториям.

Стоит отметить рассредоточение давления по объему рабочей камеры, с концентрацией по краям, при этом имеет место искусственно создаваемое вихревое воспламенение топливно-воздушной смеси. За счет внутренней геометрии рассматриваемых форкамер воспламенение происходит наилучшим образом.



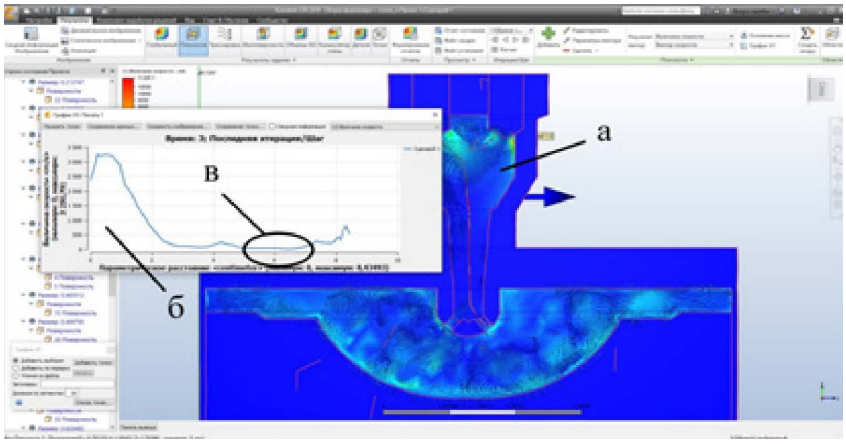
а – распределение давления в момент воспламенения топливно-воздушной смеси;
б – график распределения давления
Рис.1 – Газодинамический расчет форкамеры конфигурации 1
a – pressure distribution at the moment of ignition of the fuel-air mixture;
b – pressure distribution graph
Fig.1 – Gas dynamic calculation of the pre-chamber configuration 1



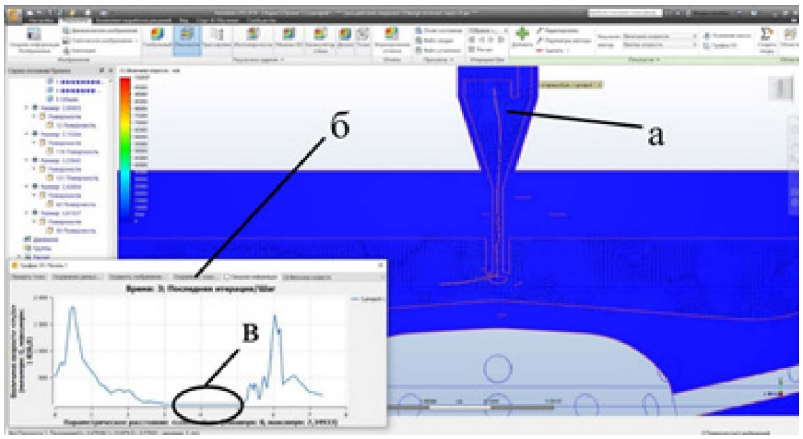
а – распределение давления по телу подготовленной 3D модели, в момент воспламенения топливно-воздушной смеси; б – график распределения давления
Рис.2 – Газодинамический расчет форкамеры конфигурации 2
a – pressure distribution over the body of the prepared 3D model, at the moment of ignition of the fuel-air mixture; b – pressure distribution graph
Fig.2 – Gas dynamic calculation of the pre-chamber configuration 2

Конфигурация форкамеры влияет не только на скорость воспламенения топливно-воздушной смеси, но и на скорость перемещения воспламененного газа. Для уточнения данного параметра был проведен расчет, определяющий скорость распределения топливной смеси по объему рабочей камеры в момент воспламенения, результаты приведены на рисунках 3,4.

В результате моделирования момента воспламенения газа в форкамерах конфигураций 1 и 2 были зафиксированы разные показатели скорости движения газа, что обусловлено разницей геометрий исследуемых форкамер. Скорость воспламенения у форкамеры первой конфигурации варьировалась от 2500 до 3000 м/с. Стоит отметить, что истечение газа, происходящее вследствие перепада давлений по длине патрубка, может характеризоваться как дозвуковой, так и сверхзвуковой скоростью истечения. В выходном сечении соплового канала форкамеры первой конфигурации значение скорости составило 800 м/с, впоследствии скорость стала постоянной.



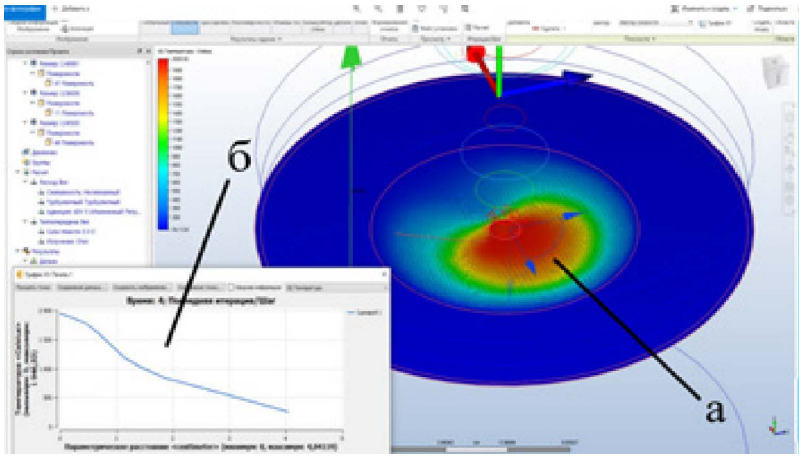
а – модель распределение скорости перемещения топливной смеси по рабочей камере;
б – график, характеризующий скорость распределения; в – замедление потока
Рис.3 – Расчет скорости распространения воспламененной топливной смеси, форкамеры конфигурации 1
a – model of distribution of the speed of movement of the fuel mixture in the working chamber; b – graph characterizing the speed of distribution; c – flow deceleration
Fig.3 – Calculation of the propagation velocity of the ignited fuel mixture, pre-chamber configuration 1



а – модель распределение скорости перемещения топливной смеси по рабочей камере;
б – график, характеризующий скорость перемещения; в – замедление потока
Рис.4 – Расчет скорости распространения воспламененной топливной смеси,
форкамеры конфигурации 2
a – model of distribution of the speed of movement of the fuel mixture in the working chamber; b – graph characterizing the speed of movement; c – flow deceleration
Fig.4 – Calculation of the propagation velocity of the ignited fuel mixture pre-chamber configuration 2

Значение скорости воспламенения у форкамеры второй конфигурации находилось в пределах от 600 до 1700 м/с. Скорость истечения газа из соплового канала форкамеры второй конфигурации составила 1800 м/с и являлась сверхзвуковой. Процесс горения в рабочей камере, как и сопротивление на выходе из сопла, оказывает влияние на поток. Имеет место ярко выраженное «замедление потока», представленное на графиках рисунков 3в и 4в. Исследуя его характер, стоит отметить его неоднородность, а также разную длину.

Представленный на рисунке 5 расчет необходим для визуализации процесса горения и распределения температурного фронта по камере. Выход пламени из отверстий распылителя происходит неравномерно, в результате чего имеет место смещение температурного фронта в сторону от центра цилиндра. Данная несимметричность не оказывает негативных влияний на процесс. Следует отметить, что процесс горения топливно-воздушной смеси в рабочей камере имеет некоторую продолжительность, кислород является основообразующим элементом процесса, необходимым для сохранения реакции окисления [14,15]. Процесс подвода кислорода в камеру осуществляется за счет отверстия в распылителе. За счет формы поршня происходит максимальное поглощение температурного фронта, отчего сгорание топливно-воздушной смеси происходит наилучшим образом.



а – распределения температурной вспышки в камере сгорания;
б – график температурных значений во время воспламенения
Рис.5 – Расчет распределения температурного фронта во время воспламенения в форкамере
a – distribution of temperature flash in the combustion chamber; b – graph of temperature values during ignition
Fig.5 – Calculation of the distribution of the temperature front during ignition in the pre-chamber

Представленный на рисунке 5 расчет необходим для визуализации процесса горения и распределения температурного фронта по камере. Выход пламени из отверстий распылителя происходит неравномерно, в результате чего имеет место смещение температурного фронта в сторону от центра цилиндра. Данная несимметричность не оказывает негативных влияний на процесс. Следует отметить, что процесс горения топливно-воздушной смеси в рабочей камере имеет некоторую продолжительность, кислород является основообразующим элементом процесса, необходимым для сохранения реакции окисления [14,15]. Процесс подвода кислорода в камеру осуществляется за счет отверстия в распылителе. За счет формы поршня происходит максимальное поглощение температурного фронта, отчего сгорание топливно-воздушной смеси происходит наилучшим образом.

Заключение

Исходя из данных, полученных в результате исследований и расчетов, было установлено, что современные двигатели имеют высокие значения воспламенения топливной смеси и значительно

превосходят по данному параметру предшествующие аналоги. Данное превосходство стало возможным благодаря конструкции форкамер зажигания современных двигателей. Модернизация форкамеры, а именно изменение ее геометрической формы, способна качественно улучшить воспламенение топливно-воздушной смеси, увеличить мощность, повысить полноту сжигания газовоздушной смеси, уменьшить выбросы в атмосферу не отработавших газов

Список источников

1. Демьянов Л.А. Пути повышения надежности и долговечности автотракторных двигателей/ Л. А. Демьянов, С. К. Сарафанов// — Москва: Воениздат, 1967 — 152 с.

2. Kalyan K.S. Natural Gas Engines / K.S. Kalyan, K.A.Avinash, R.K. Sundar //-Springer. — 2019. — с. 250.

3.Ваншейдт В.А. Дизели / В.А. Ваншейдт, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллеров /— Ленинград: Машиностроение, 1977 — 480 с.

4.Кнельц В.Ф. Принципы и особенности построения систем воздухоснабжения на двигателях производства АО "Коломенский завод / В.Ф. Кнельц, А.Б. Матисен //

Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т. 9, № 4. – С. 3–9.

5. Ионов В.Г. Исследование отдельных стадий форкамерного зажигания с помощью кинематографического анализа / В.Г. Ионов. — 1990. — № 2. — с.

6.Чайнов Н.Д. Прочность теплонапряженных базовых деталей среднеоборотных двигателей внутреннего сгорания // Н.Д. Чайнов, М.И. Раенко, В.А. Рыжов. — Москва: Машиностроение, 2015 - 360 с.

7.Рыжов В.А. Четыре поколения двигателей типоразмерного ряда Д49 / В.А.

Рыжов // Двигателестроение. – 2020. – № 4(282). – С. 35–40

8.Дейч М.Е. Техническая газодинамика / Издание второе, переработанное. — Москва: Государственное энергетическое издание, 1961 — 675 с.

9. Щукин В. К. Термодинамика и теплопередача/ Издание третье, переработанное. — Москва: Высшая школа, 1991 — 480 с.

10.Иванов М. Н. Детали машин : учебник для среднего профессионального образования / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — 16-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 457 с.

11. Дьяченко Н.Х. Теория ДВС/ Рабочие процессы издание второе, дополнительное и переработанное. Ленинградское отделение издательства «Машиностроение», 1974 — 551 с.

12. Сечин А.И. Теория горения и взрыва: учебное пособие/ В.А. Перминов, О.Б. Назаренко и др./ /Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 162 с.

13. Никитин Е.М. Теоретическая механика / Издание двенадцатое исправленное — МОСКВА: «НАУКА», 1988 — 336 с.

14.Сучков О.К. Технология металлов и конструкционные материалы/ О. К. Сучков, И. А. Чернышев, С. У. Мурашкин, и др. — Издание третье дополненное и переработанное. — Москва: «МЕТАЛЛУРГИЯ», 1974 — 443.

15. Горбачев С.В. Автомобильные системы питания компримированным природным газом/ С.В. Горбачев, Р.Ф. Калимуллин, И. И. Любимов.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2007 — 35 с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1.Dem'yanov L.A. Puti povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti avtotraktornyh dvigatelej/ L. A. Dem'yanov, S. K. Sarafanov// — Moskva: Voenizdat, 1967 — 152 c.

2. Kalyan K.S. Natural Gas Engines / K.S. Kalyan, K.A. Avinash, R.K. Sundar //-Springer. — 2019. — c. 250.

3.Vanshejdt V.A. Dizeli / V.A. Vanshejdt, N.N. Ivanchenko, L.K. Kollerov /— Leningrad: Mashinostroenie, 1977 — 480 c.

4.Knel'c V.F. Principy i osobennosti postroeniya sistem vozduhosnabzheniya na dvigatelyah proizvodstva AO \"Kolomenskij zavod / V.F. Knel'c, A.B. Matisen //

Mashinostroenie: setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2022. – T. 9, № 4. – S. 3–9.

5. Ionov V.G. Issledovanie otdel'nyh stadij forkamernogo zazhiganiya s pomoshch'yu kinematograficheskogo analiza / V.G. Ionov. — 1990. — № 2. — c.

6.Chajnov N.D. Prochnost' teplonapryazhennyh bazovyh detalej sredneoborotnyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // N.D. Chajnov, M.I. Raenko, V.A. Ryzhov. — Moskva: Mashinostroenie, 2015 - 360 s.

7. Ryzhov V.A. Chetyre pokoleniya dvigatelej tiporazmernogo ryada D49 / V.A.

Ryzhov // Dvigatelestroenie. – 2020. – № 4(282). – S. 35–40

8.Dejch M.E. Tekhnicheskaya gazodinamika / Izdanie vtoroe, pererabotannoe. — Moskva: Gosudarstvennoe energeticheskoe izdanie, 1961 — 675 c.

9. Shchukin V. K. Termodinamika i teploperedacha/ Izdanie tret'e, pererabotannoe. — Moskva: Vysshaya shkola, 1991 — 480 c.

10. Ivanov M.N. Detali mashin : uchebnik dlya srednego professional'nogo obrazovaniya / M.N. Ivanov, V. A. Finogenov. — 16-e izd., ispr. i dop. — Moskva : Izdatel'stvo Yurajt, 2024. — 457 s.

11. D'yachenko N.H. Teoriya DVS/ Rabochie processy izdanie vtoroe, dopolnitel'noe i pererabotannoe. Leningradskoe otdelenie izdatel'stva «Mashinostroenie», 1974 — 551 c.

12. Sechin A.I. Teoriya goreniya i vzryva: uchebnoe posobie/ V.A. Perminov, O.B. Nazarenko i dr./ /Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2020. – 162 s.

13. Nikitin E.M. Teoreticheskaya mekhanika / Izdanie dvenadcatoe ispravlennoe — MOSKVA: «NAUKA», 1988 — 336 c.

14.Suchkov O.K. Tekhnologiya metallov i konstrukcionnye materialy/ O. K. Suchkov, I. A. Chernyshev, S. U. Murashkin, i dr. — Izdanie tret'e dopolnennoe i pererabotannoe. — Moskva: «METALLURGIYa», 1974 — 443.

15. Gorbachev S.V. Avtomobil'nye sistemy pitaniya komprimirovannym prirodnym gazom/ S.V. Gorbachev, R.F. Kalimullin, I. I. Lyubimov.— Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2007 — 35 c.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Жбанов Никита Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», zbanovnikita25@gmail.com

Попков Никита Евгеньевич, магистрант кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», Рязань, Россия, nikita.popkov@mail.ru

Чернышев Алексей Дмитриевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», aaa777aa62@yandex.ru

Официн Сергей Иванович, канд. пед. наук, доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», s.ofitsin@yandex.ru

Кирьяков Олег Владиленович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», Olegkir1971@gmail.com

Author Information

Zhbanov Nikita S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, zbanovnikita25@gmail.com

Popkov Nikita E., Master's student of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, nikita.popkov@mail.ru

Chernyshev Alexey D., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, aaa777aa62@yandex.ru

Officin Sergey I., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, s.ofitsin@yandex.ru

Kiryakov Oleg V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, Olegkir1971@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.09.2024; одобрена после рецензирования 12.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 04.09.2024; approved after reviewing 12.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 93-99
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 93-99

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 635.21:631.53.631.8, 635.21:631.17
DOI: 10.36508/RSATU.2024.23.75.014

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ В КАРТОФЕЛЕХРАНИЛИЩАХ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПРЕДПОСАДОЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Дмитрий Владимирович Колошеин [1] ✉, Сергей Николаевич Борычев [2], Андрей Сергеевич Попов [3], Егор Антонович Лазарев [4], Герман Сергеевич Власов [5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] dkoloshein@mail.ru
[2] university@rgatu.ru
[3] popov1975.popoff@yandex.ru
[4] www.repzlhbo@mail.ru
[5] vlasov-german@bk.ru

Аннотация
Проблема и цель. *Одной из ключевых проблем РФ в аграрном секторе является зависимость отечественных производителей картофеля от импорта семенного материала. Это подчеркивает актуальность развития национальной базы селекционных достижений для обеспечения устойчивости агропромышленного комплекса, что требует значительных научных и технологических усилий в селекции и агротехнологиях. Целью исследований является разработка и внедрение передовых методик, позволяющих улучшить качество и всхожесть отечественных сортов картофеля, а также оптимизировать условия их хранения. Это включает в себя изучение влияния различных климатических и агротехнических параметров на урожайность и устойчивость новых сортов к заболеваниям. Особое внимание уделяется созданию различных моделей взаимосвязи условий хранения и всхожести картофеля. В конечном счёте, такие исследования должны способствовать полному обеспечению потребностей страны в семенном материале, уменьшая зависимость от импортных поставок и укрепляя позиции России на мировом рынке сельхозпродукции.*
Методология. *Модель взаимосвязи между условиями хранения и всхожестью картофеля определяет процент прорастания как функцию, зависящую от температуры, влажности и длительности хранения. Применение корреляционной матрицы позволило оценить степень взаимосвязи каждого фактора с показателями прорастания. Установлено, что повышение температуры отрицательно коррелирует с процентом прорастания, что подчеркивает необходимость контроля температурного режима. Обработка данных производилась с использованием программ Microsoft Excel и Statistica, что способствовало детальному анализу полученных результатов.*
Результаты. *В проведённом исследовании основное внимание уделено изучению факторов хранения, влияющих на предпосадочную обработку семенного картофеля, с использованием модели, рассматривающей такие параметры, как температура, влажность, продолжительность хранения и условия освещённости. Температура хранения 3° C - 5° C оптимальна для предотвращения потери влаги и развития болезней, в то время как оптимальная относительная влажность (88-92 %) помогает поддерживать качество клубней. Модель учитывает влияние этих факторов на три ключевых параметра выхода: энергия прорастания, процент прорастания, заболеваемость картофеля. Составленная система связанных дифференциальных уравнений детально описывает изменения химических и физических свойств клубней при хранении и последующую предпосадочную обработку. Важным шагом в усовершенствовании модели является интеграция параметров предпосевной обработки, таких как рост, защита от болезней и стрессоустойчивость, необходимых для более точного отражения реальных условий и определения оптимальных методов хранения. В свою очередь, лабораторные и хозяйственные исследования в дальнейшем проверят её адаптивность и практическую применимость.*
Заключение. *Применение разработанной модели в сельском хозяйстве является важным элементом для снижения рисков и повышения эффективности производства картофеля. Одним из направлений усовершенствования модели является интеграция уравнений, описывающих потоки тепла и влажности, что позволит детально анализировать температурные и влажностные градиенты*

© Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С., Лазарев Е.А., Власов Г.С,. 2024 г.

в массе клубней. При этом адаптация модели под различные сорта картофеля и специфические условия требует корректировки ее параметров на основе экспериментальных данных, что улучшит точность прогнозов. Внедрение параметров предпосевной обработки в модель предоставит возможности для более точного прогнозирования изменений в качестве клубней картофеля. Это, в свою очередь, позволит оптимизировать процесс подготовки семенного материала. Такие улучшения приведут к значительному росту урожайности и качества продукции.

Ключевые слова: *аналитическое исследование, хранение, семенной картофель, картофелехранилище, предпосадочная обработка, модель, прорастание, факторы*

Для цитирования: *Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С., Лазарев Е.А., Власов Г.С. Аналитическое исследование взаимосвязи условий хранения семенного картофеля в картофелехранилищах с последующей предпосадочной обработкой // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024,Т.16, №4, С. 93-99 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.23.75.014*

Original article

THEORETICAL ANALYSIS OF AIR FLOW DYNAMICS IN A POTATO STORAGE CONTAINER

Dmitry V. Koloshein.[1] ✉, Sergey N. Borychev [2], Andrey S. Popov[3], Egor A. Lazarev [4], German S. Vlasov [5]

[1,2,3,4,5] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

[1] dkoloshein@mail.ru
[2] university@rgatu.ru
[3] popov1975.popoff@yandex.ru
[4] www.repzlhbo@mail.ru
[5] vlasov-german@bk.ru

Abstract.
Problem and purpose. *One of the key problems of the Russian Federation in the agricultural sector is the dependence of domestic potato producers on imported seed material. This emphasizes the relevance of developing a national base of selection achievements to ensure the sustainability of the agro-industrial complex, which requires significant scientific and technological efforts in selection and agricultural technologies. The purpose of the research is to develop and implement advanced techniques to improve the quality and germination of domestic potato varieties, as well as optimize their storage conditions. This includes studying the influence of various climatic and agrotechnical parameters on the yield and resistance of new varieties to diseases. Particular attention is paid to the creation of various models of the relationship between storage conditions and potato germination. Ultimately, such research should contribute to fully meeting the country's needs for seed material, reducing dependence on imported supplies and strengthening Russia's position in the global agricultural market.*
Methodology. *The model of the relationship between storage conditions and potato germination defines the percentage of germination as a function of temperature, humidity and storage duration. The use of a correlation matrix allowed us to estimate the degree of relationship between each factor and germination indices. It was found that an increase in temperature negatively correlates with the percentage of germination, which emphasizes the need to control the temperature regime. Data processing was performed using Microsoft Excel and Statistica, which facilitated a detailed analysis of the results.*
Results. *The study focused on the storage factors affecting pre-planting treatment of seed potatoes using a model that takes into account such parameters as temperature, humidity, storage duration and light conditions. A storage temperature of 3°C - 5°C is optimal to prevent moisture loss and disease development, while optimal relative humidity (88-92%) helps maintain tuber quality. The model takes into account the influence of these factors on three key yield parameters: germination energy, germination percentage and potato disease incidence. The developed system of coupled differential equations describes in detail the changes in the chemical and physical properties of tubers during storage and subsequent pre-planting treatment. An important step in improving the model is the integration of pre-planting treatment parameters such as growth, disease protection and stress resistance, which is necessary to more accurately reflect real conditions and determine optimal storage methods. In turn, laboratory and commercial studies will further test its adaptability and practical applicability.*
Conclusion. *The use of the developed model in agriculture is an important element for reducing risks and increasing the efficiency of potato production. One of the areas of model improvement is the integration of equations describing heat and humidity flows, which will allow for a detailed analysis of temperature and humidity gradients in the mass of tubers. At the same time, adapting the model to different potato varieties and specific conditions requires adjusting its parameters based on experimental data, which will improve the accuracy of forecasts. The introduction of pre-planting treatment parameters into the model will provide*

opportunities for more accurate forecasting of changes in the quality of potato tubers. This, in turn, will optimize the seed preparation process. Such improvements will lead to significant yields and product quality.

Key words: *analytical study, storage, seed potatoes, potato storage, pre-planting treatment, model, germination, factors*

For citation: *Koloshein D.V, Borychev S.N., Popov A.S., Lazarev E.A., Vlasov G.S. Theoretical analysis of air flow dynamics in a potato storage container // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P. 93-99 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.23.75.014*

Введение

В Российской Федерации на сегодняшний день реализуется Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства [1, 2], рассчитанная до 2025 года. Основной целью данной программы является достижение Россией уровня самообеспечения основными продуктами питания.

В 2017 году отечественные производители семенного картофеля зависели от импортных поставок на уровне приблизительно 80 %. (рис. 1) [3].

По данным Минобрнауки Россия сможет себя обеспечить семенами картофеля к 2025 году. Так, в последние годы в Российской Федерации было зарегистрировано свыше 29 новых отечественных сортов картофеля. Эти селекционные достижения не только сопоставимы по своим характеристикам с иностранными аналогами, но в ряде показателей превосходят их.

Для достижения этой цели активно внедряются меры поддержки отечественных производителей, в том числе субсидии на создание новых сортов картофеля и развитие инфраструктуры. Осуществляется модернизация агротехнической базы, укрепление кадрового потенциала и расширение научных исследований в сфере селекции. С научной точки зрения, большое внимание уделяется адаптации сортов картофеля к различным климатическим условиям и их устойчивости к заболеваниям.

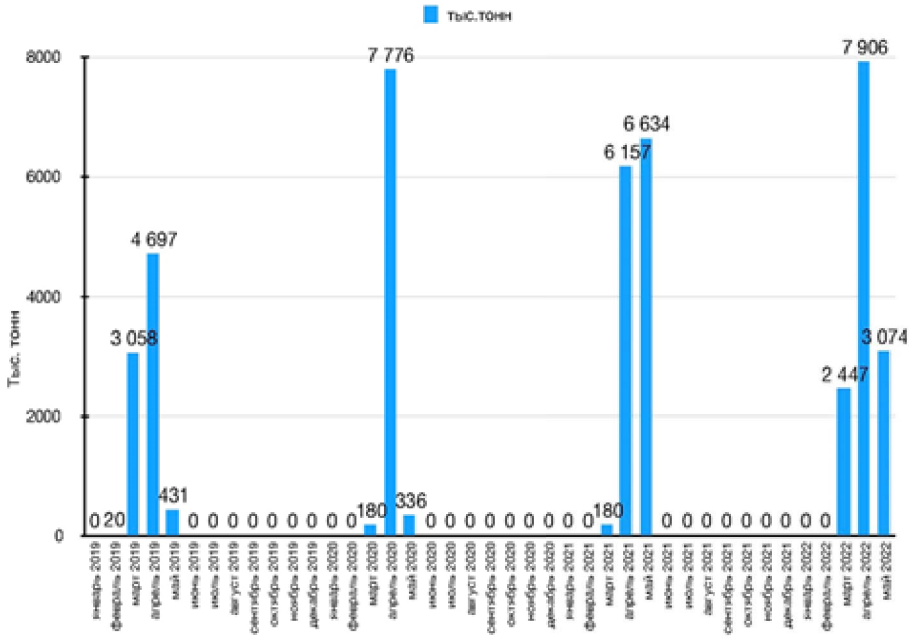


Рис.1 – Динамика импорта семенного картофеля в РФ за 2020-2022 гг., тыс. тонн
Fig. 1 – Dynamics of seed potato imports to the Russian Federation for 2020-2022, thousand tons

Кроме того, правительством вводятся программы для продвижения органического земледелия и инновационных агротехнологий, которые способствуют увеличению урожайности и качественных характеристик продукции. В контексте стратегического развития сельского хозяйства как важная задача становится создание модели взаимосвязи между условиями хранения и всхожестью картофеля. Такая модель позволит определить оптимальные условия для хранения, которые сохранят семенной материал в хорошем состоянии, обеспечивая его максимальную всхожесть и таким образом улучшая потенциальную урожайность. Исследования в этой области могут использовать современные технологии данных для анализа большого количества факторов, таких как температура, влажность и продолжительность хранения. Эти знания помогут фермерам минимизировать потери и оптимизировать процессы хранения, поддерживая стабильное производство высококачественного картофеля. В свою очередь, такая интеграция науки и практики напрямую приведет к увеличению самообеспеченности страны и укреплению её позиций на мировом рынке.

Методика

Построение модели взаимосвязи между условиями хранения и всхожестью картофеля включало детальное уточнение информации о про-

центах прорастания и потерях массы клубней. В разработанной модели процент прорастания был определён как функция, зависящая от температуры, влажности и длительности хранения, с учётом отклонений от оптимальных значений данных параметров. Использование корреляционной матрицы позволило провести анализ степени корреляции каждого фактора с показателями прорастания клубней. Например, была выявлена отрицательная корреляция с температурой, что указывает на то, что повышение температуры способствует увеличению прорастания. Это свидетельствует о важности строгого контроля температурного режима в процессе хранения. Такие результаты подчеркивают значимость комплексного подхода при анализе условий хранения для повышения эффективности. В рамках исследований обработку информации производили в программах Microsoft Excel, Statistica.

Результаты и обсуждение

Основными аспектами хранения, которые влияют на предпосадочную обработку, являются температура хранения, относительная влажность, продолжительность хранения, условия освещённости [4]. Эти факторы являются входными параметрами модели. Выходными параметрами модели являются энергия прорастания, процент прорастания и заболеваемость. Рассмотрим более подробно каждый из этих параметров.

Температура хранения для семенного картофеля составляет 3° С - 5° С. При более высоких температурах увеличивается риск потери влаги и активизации болезней.

Высокая относительная влажность (около 88-92 %) помогает предотвратить потерю влаги клубнями, что важно для поддержания качества посадочного материала.

В свою очередь, чем дольше хранится картофель, тем больше изменяются его физические и биологические свойства, включая увеличивающееся прорастание глазков и снижение энергии прорастания, поэтому продолжительность хранения картофеля – это основополагающий фактор.

Освещённость в картофелехранилище является значительным фактором. Поддержание темноты способствует снижению фотосинтетической активности, что благоприятно сказывается на сохранении энергии в клубнях [5, 6].

Энергия прорастания зависит от того, насколько хорошо клубни картофеля сохранили свои питательные вещества и жизненные силы. Низкая энергия прорастания может указывать на изношенность запасов или повреждение клубней [7, 8].

Процент прорастания зависит от запаса сил и состояния «спячки» картофеля. Если процент высокий, это может указывать на условия хранения, способствующие преждевременному прорастанию.

Заболеваемость картофеля возникает из-за неблагоприятных условий хранения, приводящих к развитию патогенов [8].

В свою очередь, полученная модель (рис. 2) дает представление о сложных биологических и физических процессах, которые происходят при хранении семенного картофеля и их влиянии на последующую предпосадочную обработку.

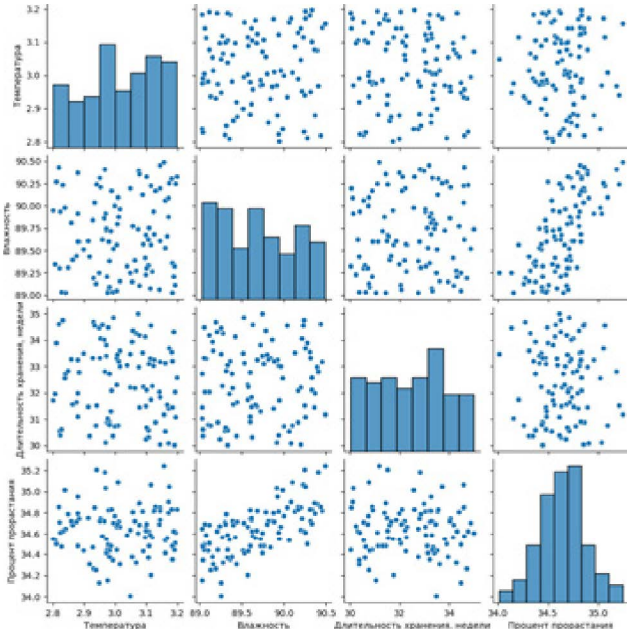


Рис.2 – Модель взаимосвязи между условиями хранения и всхожестью картофеля
Fig.2 – Model of the relationship between storage conditions and potato germination

В дальнейшем зададимся линейным программированием с целью описания технологических процессов, протекающих при хранении, и предпосевной обработки картофеля. Для этого составим матрицу, отображающую процесс хранения семенного картофеля (табл. 1) [9, 10, 11].

Таблица 1 – Технологическая матрица

Физические и биологические свойства картофеля	T – температура хранения	W – относительная влажность	D – длительность хранения	L – нормальный уровень освещённости
R_1 – энергия прорастания	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
R_2 – процент прорастания	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
R_3 – заболеваемость картофеля	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}

При этом параметр a_{ij} – набор чисел, показывающий количество заданных параметров, необходимых для поддержания оптимальной сохранности картофеля. А в качестве переменных выступает x_1, x_2, x_3, x_4, то есть процентное состояние каждого исследуемого фактора.

Пусть некоторая система вентиляции картофелехранилища создает необходимые параметры, влияющие на сохранность картофеля (табл. 1).

T – температура хранения;

W – относительная влажность;

D – длительность хранения;

L – нормальный уровень освещённости;

R_1 – энергия прорастания;

R_2 – процент прорастания;

R_3 – заболеваемость картофеля.

При этом R_1, R_2, R_3 ограничены по оптимальным условиям хранения картофеля – b_1, b_2, b_3

Особенностью работы систем вентиляции картофелехранилища будет набор коэффициентов, показывающий, какое количество T, W, D, L необходимо для получения R_1, R_2, R_3.

Составим технологическую матрицу сохранности картофеля (1):

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 \to R_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 \to R_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 \to R_3 \end{cases} \quad (1)$$

С учетом оптимальных условий получим систему линейных уравнений (2):

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 < b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 < b_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 < b_3 \end{cases} \quad (2)$$

В дальнейшем с учетом требований хранения картофеля получаем линейную оптимизационную задачу, которую можно представить в виде системы уравнений (3):

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 < b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 < b_2 \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 < b_3 \\ T_{min} \le x_1 \le T_{max} \\ W_{min} \le x_2 \le W_{max} \\ D_{min} \le x_3 \le D_{max} \\ L_{min} \le x_4 \le L_{max} \end{cases}, \quad (3)$$

На основе полученной системы уравнений можно создать оптимальные условия для хранения семенного материала и уменьшить процент потерь.

Для интеграции предпосевной обработки в модель введем функцию f(P), которая учитывает скорость изменения качества клубней картофеля в зависимости от типа и интенсивности обработки, тогда:

$$f(P) = 1 - \alpha \cdot P(N), \quad (4)$$

где α – коэффициент, отражающий степень влияния обработки на качество, P(N) – количество семенного материала, не удовлетворяющего агротехнологическим требованиям.

В свою очередь, коэффициент влияния α задается экспериментальными исследованиями для каждой специфической обработки клубней картофеля, при этом учитывается, насколько обработка способна изменить скорость ухудшения качества картофеля.

Для того чтобы точно определить коэффициенты α и параметры P(N), важно проводить лабораторные исследования, а также использовать оптимизацию системы уравнений (3).

С помощью модели можно определить оптимальные температурные диапазоны, которые минимизируют процесс прорастания. Это может быть реализовано путем использования системы контроля климата, которая автоматически регулирует температуру в пределах, указанных моделью.

Контроль уровней относительной влажности поможет предотвратить чрезмерную потерю влаги клубней. При этом в картофелехранилищах используется система вентиляции с увлажнителями и осушителями, которые также поддерживают оптимальные условия.

Модель предполагает, что избыток света ускоряет процесс прорастания. Закрытые или затемненные места картофелехранилища помогут минимизировать воздействие света на клубни.

Модель позволяет прогнозировать оптимальную продолжительность хранения, после которой качество клубней начинает заметно ухудшаться. В свою очередь, это поможет планировать даты реализации или использования семенного картофеля.

Проанализировав полученную модель, можно в дальнейшем предложить рекомендации по оптимизации условий хранения картофеля, чтобы максимально поддерживать качество семенного материала до посадки. В свою очередь, это может означать соблюдение оптимальной температуры и относительной влажности и освещенности, а также проведение регулярных анализов на предмет заболевания. Применение таких моделей играет ключевую роль в сельском хозяйстве, помогая минимизировать риски и повышать эффективность выращивания картофеля. Возможности улучшения разработанной модели касаются добавления уравнений потока тепла и влажности с целью определения температурных и влажностных градиентов в картофельной массе. Однако предложенную модель необходимо корректировать под специфические условия и разные сорта картофеля, применяя экспериментальные данные для улучшения точности прогнозов.

Заключение

Модель позволяет прогнозировать оптимальную продолжительность хранения, после которой качество клубней начинает заметно ухудшаться. В свою очередь, это поможет планировать даты реализации или использования семенного картофеля. Модель предполагает, что избыток света ускоряет процесс прорастания. Закрытые или затемненные

места картофелехранилища помогут минимизировать воздействие света на клубни. Дальнейшее развитие предложенной интеграции параметра предпосевной обработки в разрабатываемую модель изменения скорости качества картофеля поможет более точно прогнозировать результаты и оптимизировать процесс подготовки семенного картофеля, что в конечном счете в дальнейшей перспективе способствует повышению урожайности и качества семенного материала.

Список источников

1.Современные технологии производства семенного картофеля. Практическое руководство / Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Блинков Е.Г., Юрлова С.М., Усков А.И., Зейрук В.Н., Федотова Л.С.; общ. ред. Б.В. Анисимов – Чебоксары, 2018. – 48 с.

2.ГОСТ Р 55329-2012 «Картофель семенной. Приемка и методы анализа». М.: Стандартинформ, 2013. – 26 с.

3.Об импорте семенного картофеля в Россию в 2012-2020 гг. – Режим доступа: https://www.neo-agriservis.ru/news/ob-importe-semennogo-kartofelya-v-rossiyu-v-2012-2020-gg/ – Дата обращения 14.11.2024.

4.Theoretical and economic studies of a floor duct in the form of cylindrical pipes / A.I. Volkov, L.A. Maslova, D.V Koloshein., S.N. Borychev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. С. 012129.

5.Войтюк М.М., Мачнева О.П., Стяжкин В.И., Войтюк В.А. Объемно-планировочные и технологические решения проектирования предприятий по хранению и обработке картофеля и плодоовощной продукции: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 220 с.

6.Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 236 с.

7.Хранение картофеля/ К.А.Пшеченков, В.Н.Зейрук, С.Н.Еланский, С.В.Мальцев, С.Б.Прямов.—М.:Агроспас, 2016. — 144с.

8.Пономарев А.Г., Колчин Н.Н., Зернов В.Н., Петухов С.Н. и др. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация // Картофель и овощи. – 2017. – № 3. – С. 22-24.

9.Патент № 218137 U1 Российская Федерация, МПК A01C1/00 (2006.01) Устройство для предпосадочной обработки картофеля: № 2023100113: заявл. 09.01.2023: опубл. 12.05.2023 / С. Н. Борычев, А.А. Назарова, Д.В. Колошеин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

10.Юрьева А.А. Математическое программирование: учебное пособие. [ГрифУМО].- 2-е изд. - СПб.:Изд-во «Лань», 2014.-432 с.

11.Гадельшина Г.А. Введение в теорию игр: учебное пособие [Электронныйресурс]. - Казань: Изд-во КНИТУ, 2014. -112 с. - Режим доступа(«Книгафонд»): http://www.knigafund.ru/books/185757.

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

References

1.Sovremennyye tekhnologii proizvodstva semennogo kartofelya. Prakticheskoye rukovodstvo / Anisimov B.V., Simakov Ye.A., Zhevora S.V., Oves Ye.V., Zebrin S.N., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Blinkov Ye.G., Yurlova S.M., Uskov A.I., Zeyruk V.N., Fedotova L.S.; obshch. red. B.V. Anisimov – Cheboksary, 2018. – 48 s.

2. GOST R 55329-2012 «Kartofel' semennoy. Priyemka i metody analiza». M.: Standartinform, 2013. – 26 s. 3. Ob importe semennogo kartofelya v Rossiyu v 2012-2020 gg. – Rezhim dostupa: https://www.neo-agriservis.ru/news/ob-importe-semennogo-kartofelya-v-rossiyu-v-2012-2020-gg/ – Data obrashcheniya 14.11.2024.

4. Theoretical and economic studies of a floor duct in the form of cylindrical pipes / A.I. Volkov, L.A. Maslova, D.V Koloshein., S.N. Borychev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. S. 012129.

5. Voytyuk M.M., Machneva O.P., Styazhkin V.I., Voytyuk V.A. Ob"yemno-planirovochnyye i tekhnologicheskiye resheniya proyektirovaniya predpriyatiy po khraneniyu i obrabotke kartofelya i plodoovoshchnoy produktsii: sprav. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. – 220 s.

6. Konkurentosposobnyye tekhnologii semenovodstva, proizvodstva i khraneniya kartofelya: nauch. izd. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. – 236 s.

7. Khraneniye kartofelya/ K.A.Pshechenkov, V.N.Zeyruk, S.N.Yelanskiy, S.V.Mal'tsev, S.B.Pryamov.— M.:Agrospas, 2016. — 144s.

8. Ponomarev A.G., Kolchin N.N., Zernov V.N., Petukhov S.N. i dr. Selektsii i semenovodstvu kartofelya neobkhodima mekhanizatsiya // Kartofel' i ovoshchi. – 2017. – № 3. – S. 22-24.

9. Patent № 218137 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01C1/00 (2006.01) Ustroystvo dlya predposadochnoy obrabotki kartofelya: № 2023100113: zayavl. 09.01.2023: opubl. 12.05.2023 / S. N. Borychev, A.A. Nazarova, D.V. Koloshein [i dr.]; zayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet imeni P.A. Kostycheva».

10. Yur'yeva A.A. Matematicheskoye programmirovaniye: uchebnoye posobiye. [GrifUMO].- 2-ye izd. - SPb.:Izd-vo «Lan'», 2014.-432 s.

11. Gadel'shina G.A. Vvedeniye v teoriyu igr: uchebnoye posobiye [Elektronnyyresurs]. - Kazan': Izd-vo KNITU, 2014. -112 s. - Rezhim dostupa(«Knigafond»): http://www.knigafund.ru/books/185757.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Колошеин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», dkoloshein@mail.ru

Борычев Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, первый проректор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Попов Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», popov1975.popoff@yandex.ru

Лазарев Егор Антонович, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», www.repzlhbo@mail.ru

Власов Герман Сергеевич, магистрант 1-го курса, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», vlasov-german@bk.ru

Author Information

Koloshein Dmitry V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Construction of Engineering Structures and Mechanics", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, dkoloshein@mail.ru

Borychev Sergey N., Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Popov Andrey S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of "Construction of engineering structures and mechanics", Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, popov1975.popoff@yandex.ru

Lazarev Egor A., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, www.repzlhbo@mail.ru

Vlasov German S., 1st year master's student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, vlasov-german@bk.ru

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 07.12.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 01.11.2024; approved after reviewing 07.12.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 100-106
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 100-106

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.08
DOI: 10.36508/RSATU.2024.50.52.015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОГРУЗКИ СИЛОСНОЙ РЕЗКИ

Никита Михайлович Костенко[1] ✉, Александр Владимирович Шемякин[2], Георгий Константинович Рембалович[3], Михаил Юрьевич Костенко[4], Наталья Алексеевна Костенко[5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] nikitakosten@yandex.ru
[2] avtodor-dec@ymail.ru
[3] university@rgatu.ru
[4] kostenko.mihail2016@yandex.ru
[5] kn340010 @yandex.ru

Аннотация
Проблема и цель. *Уменьшение потерь в процессе уборки является сейчас довольно важной задачей. При уборке из-за несогласованности работы и движения сельскохозяйственной техники может теряться до 10 % урожая. Цель исследования – описать основные принципы работы устройства отслеживания погрузки силосной резки, рассчитать параметры камеры и получить наиболее удачный способ отслеживания расположения устройства.*
Методология. *Необходимо выяснить, где должна располагаться стереопара из камер, отслеживающая положение кузова и его заполненность: на каком расстоянии и на какой высоте, чтобы охватывать в том числе днище кузова, в который производится отгрузка кукурузы. Для этого необходимо составить схемы и составить на их основе формулы для вычисления параметров стереопары; получить также необходимые данные, в том числе и на основе видеоматериала. После чего произвести окончательный расчет параметров.*
Результаты. *При правильном подборе параметров стереопары и написании достаточно хорошего алгоритма обработки изображений можно получить алгоритм слежения, который позволяет решить проблему выгрузки. Таким образом, параметры работы устройства отслеживания погрузки силосной резки: стереобазис устройства отслеживания – b=9 см; угол обзора камеры – a=120º; место расположения устройства отслеживания – на краю рукава выгрузки комбайна; высота места расположения устройства отслеживания относительно кузова – h_c=2,04 м; удаленность места расположения устройства от кузова – l_c= 1,4-2,1 м. Установлено, что расположение на силосопроводе, является достаточно логичным, так как необходимые условия для отслеживания состояния кузова и его расположения выполнены. Это также означает, что при правильном подборе параметров стереопары и написании достаточно хорошего алгоритма обработки изображений можно получить алгоритм слежения, который позволяет решить проблему выгрузки.*
Ключевые слова: *стереобаза, камера, погрузка, комбайн, грузовик, кукуруза, силосная резка.*
Для цитирования: *Костенко Н.М., Шемякин А.В., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Костенко Н.А.Определение расположения и расчет параметров устройства для отслеживания погрузки силосной резки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.100-106 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.50.52.015*

Original article

DETERMINING THE LOCATION AND CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE DEVICE FOR TRACKING THE LOADING OF A SILAGE CUTTER

Nikita M. Kostenko[1] ✉, Alexander V. Shemyakin[2], Georgy K. Rembalovich[3], Mikhail Yu. Kostenko[4], Natalya A. Kostenko[5]

© Костенко Н.М., Шемякин А.В., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Костенко Н.А., 2024 г.

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1] nikitakosten@yandex.ru
[2] avtodor-dec@ymail.ru
[3] university@rgatu.ru
[4] kostenko.mihail2016@yandex.ru
[5] kn340010 @yandex.ru

Abstract
Problem and purpose. *Reducing losses during harvesting is now a rather important task. During harvesting, up to 10% of the harvest can be lost due to misalignment of the operation and movement of agricultural machinery. The purpose of the study is to describe the basic operating principles of the silage cutting loading tracking device, calculate the camera parameters and obtain the most successful method for tracking the location of the devices.*
Methodology. *It is necessary to find out where the stereo pair of cameras should be located to track the position of the body and its fullness: at what distance and at what height, so as to cover, among other things, the bottom of the body into which the corn is unloaded. To do this, it is necessary to draw up diagrams and, based on them, formulas for calculating the parameters of the stereo pair. Also obtain the necessary data, including based on video material. Then make the final calculation of the parameters.*
Results. *With the correct selection of the stereo pair parameters and writing a sufficiently good algorithm for processing images, it is possible to obtain a tracking algorithm that allows solving the unloading problem. Thus, the operating parameters of the silage cutting loading tracking device: stereo base of the tracking device – b=9 см; camera viewing angle – a=120º; location of the tracking device - on the edge of the combine unloading sleeve; the height of the location of the tracking device relative to the body – h_c=2,04 м; the distance of the location of the device from the body – l_c= 1,4-2,1 м.*
Conclusion. *It has been established that the location on the silage chute is quite logical, since the necessary conditions for tracking the state of the body and its location are met. This also means that with the correct selection of stereo pair parameters and writing a sufficiently good algorithm for processing images, it is possible to obtain a tracking algorithm that allows solving the unloading problem.*

Key words: *stereo base, camera, loading, combine, truck, corn, silage cutting*
For citation: *Kostenko N.M., Shemyakin A.V., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. Determination of the location and calculation of the parameters of the device for tracking the loading of silage cutter // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P. 100-106 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.50.52.015*

Введение

Уменьшение потерь в процессе уборки силосной резки является сейчас довольно важной задачей. При уборке из-за несогласования работы и движения сельскохозяйственной техники может теряться до 10 % урожая [1,3,4]. Задача отслеживания процесса погрузки силосной резки является важной, так как это позволяет уменьшать потери, что позволит привести к росту производительности. С появлением современных технологий компьютерного зрения и дешевых цифровых камер данная проблема представляется решаемой, так как может решить проблему согласования работы различных машин.

В качестве примера рассмотрим работу кукурузоуборочного комбайна Krone BIG X770 [2]. Из найденного в сети Интернет видеоматериала можно видеть, что после уборки урожая погрузка кукурузы происходит в кузов грузовика, что требует правильно позиционировать сельскохозяйственные машины друг относительно друга и правильно выставить параметры устройства для выгрузки урожая, а также отслеживать заполненность кузова грузовика с кукурузой [6-9].

Устройство отслеживания погрузки зерна должно располагаться на комбайне и состоять из следующих частей:

– отслеживающей камеры, получающей данные. Желательно использовать не одну камеру, а пару камер, образующих стереопару, так как это позволяет лучше отслеживать пространственное положение объектов [5,13];

– бортового компьютера, занимающегося обработкой информации с камер, чтобы принимать решения и передавать сигналы устройствам управления сельскохозяйственной машиной или операторам сельскохозяйственных машин;

– специальных маркеров на краю кузова, которые будут помогать оценить расстояние и положение сельскохозяйственных машин друг относительно друга.

Цель исследования – описать основные принципы работы устройства отслеживания погрузки силосной резки, рассчитать параметры камеры и получить наиболее удачный способ отслеживания расположения устройств.

Материалы и методы исследования

Необходимо выяснить, где должна располагаться стереопара из камер, отслеживающая положение кузова и его заполненность: на каком расстоянии и на какой высоте, чтобы охватывать в том числе днище кузова, в который производится отгрузка кукурузы [10,12,13]. Для этого составим расчетную схему, изображенную на рисунке 1.

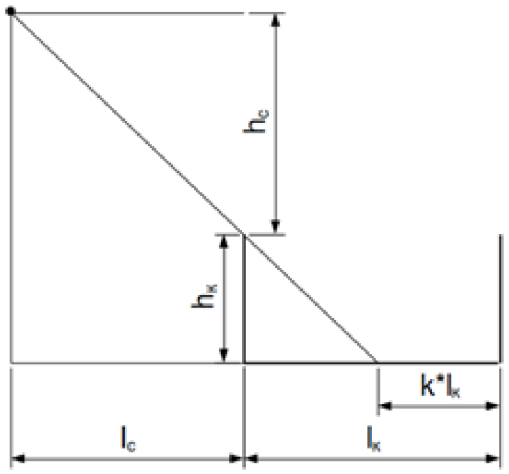


Рис.1 – Расположение выгрузного устройства комбайна относительно кузова транспортного средства
Fig.1 – Location of the combine harvester unloading device relative to the vehicle body

Из рисунка видно, что имеет место следующее соотношение:

$$\frac{(1-k)l_к}{h_к} = \frac{l_c+(1-k)l_к}{h_c+h_к} \quad (1)$$

где $h_к$ – глубина кузова, $l_к$ – ширина кузова, l_c – расстояние от стереопары до края кузова, h_c – высота стереопары над краем кузова, k – параметр, показывающий, какая часть дна кузова будет видна для устройства.

Преобразуем формулу (1) в выражение:

$$h_c = \frac{h_к(l_c+(1-k)l_к)}{(1-k)l_к} - h_к \quad (2)$$

Таким образом мы получили высоту расположения стереопары h_c. Из формулы (2) видно, что чем дальше мы расположим устройство, тем выше необходимо его поднимать над краем кузова. Это приводит к пониманию, что стереопару нужно расположить достаточно близко. Значение lc мы можем определить экспериментально на основе того, как далеко расположен комбайн от кузова грузовика во время уборки.

Необходимо произвести расчет параметров самой стереопары.

Во-первых, для данной задачи необходимо оценить стереобазис (расстояние между оптическими осями объективов камер) устройства.

Оценить размер стереобазиса можно по следующей упрощенной формуле [11]:

$$b = 0{,}03L \quad (3)$$

где L – расстояние до объекта наблюдений.

Из схемы на рисунке 1 видно, что расстояние до объекта наблюдений можно определить по следующей формуле:

$$L = \sqrt{{h_c}^2 + {l_c}^2} \quad (4)$$

Также необходимо произвести расчет одного важного в данном случае параметра камеры – угла обзора. Если подобрать неподходящую камеру, то не получится отслеживать расположение кузова, так как он не будет попадать в кадр. Важно также учитывать, чтобы кузов попадал в угол обзора обеих камер. Чтобы это оценить, составим схему углов обзора стереопары, показанную на рисунке 2.

Также необходимо произвести расчет одного важного в данном случае параметра камеры – угла обзора. Если подобрать неподходящую камеру, то не получится отслеживать расположение кузова, так как он не будет попадать в кадр. Важно также учитывать, чтобы кузов попадал в угол обзора обеих камер. Чтобы это оценить, составим схему углов обзора стереопары, показанную на рисунке 2.

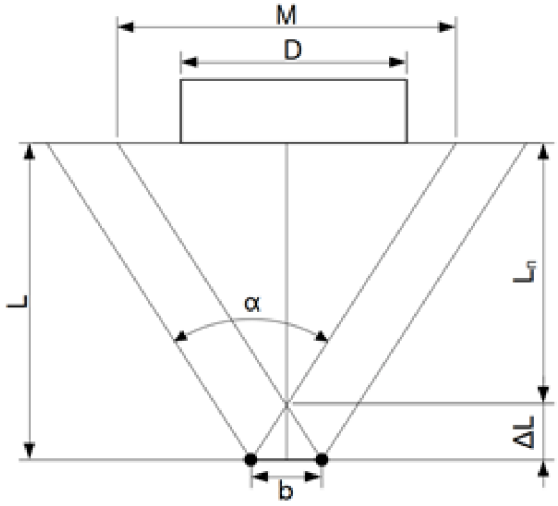


Рис.2 – Схема углов обзора камер стереопары
Fig.2 – Diagram of viewing angles of the stereo pair cameras

На рисунке показаны следующие параметры: L – расстояние до объекта наблюдений, D – размер объекта наблюдений, M – размер объекта, который может полностью попасть в кадр на данном расстоянии, α – угол обзора камеры.

Мы можем пренебречь третьим измерением, так как перемещение сельскохозяйственных машин друг относительно друга по вертикали – незначительно.

Из рисунка 2 видно, что пересечение полей видимости обеих камер можно представить как поле видимости одной камеры, однако для этого необходимо сделать определенную поправку на расположение этой мнимой камеры:

$$L_п = L - \Delta L \quad (5)$$

где поправка ΔL определяется выражением:

$$\Delta L = \frac{b}{2} ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (6)$$

Максимальный размер объекта M на расстоянии $L_п$ можно вычислить тогда следующим образом:

$$M = 2L_п tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2\left(L - \frac{b}{2} ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) =$$

$$= 2\left(L tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{b}{2}\right) \quad (7)$$

Чтобы объект попадал в угол зрения камеры, необходимо, чтобы его размеры были меньше максимальных. Это можно учесть, добавив в формулу некоторый коэффициент kз.

Размер объекта D тогда будет можно описать как:

$$D = k_з M = 2k_з\left(L \cdot tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{b}{2}\right) \quad (8)$$

где $k_з$ – размерный коэффициент объекта съемки.

Теперь необходимо преобразовать формулу (8), чтобы получить возможность найти угол обзора камеры α.

$$tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{D + k_з b}{2k_з L} \quad (9)$$

Отсюда получим, что

$$\alpha = 2arctg\left(\frac{D + k_з b}{2k_з L}\right) \quad (10)$$

Таким образом, мы получили минимальное значение угла обзора камер, используемых в стереопаре, необходимые формулы для оценки подходящего местоположения и параметров стереопары.

Результаты и обсуждение

Исходя из доступных материалов [2] и формулы (2), наиболее очевидным решением будет расположить устройство для отслеживания положения кузова на силосопроводе устройства для выгрузки. Это не требует громоздких конструкций и позволяет лучше отслеживать погрузку зерна чем в случае, если бы стереопара располагалась рядом с кабиной комбайна.

Оценим вводные параметры как на основе видеоматериала, так и на основе имеющейся документации:

Для оценки значений расстояний будем опираться на параметры кузова КАМАЗ 55102, так как он является наиболее распространенным в сельском хозяйстве.

Для определения расстояния lc необходимо обратиться к видеоматериалу, отражающему сбор урожая с использованием сельскохозяйственной машины.

Исходя из кадра видеоматериала, изображенного на рисунке 3, расстояние n между устройством выгрузки сельскохозяйственной машиной Krone BIG X770 и краем кузова грузовика будет n=2-3 грядок кукурузы. Расстояние между рядками кукурузы равно примерно $l_г$ =70 см [15], откуда можно получить следующую оценку l_c =n$l_г$=1,4-2,1 м.

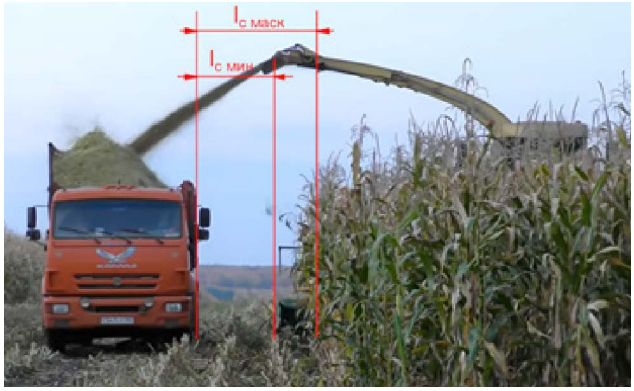


Рис.3 – Фрагмент из видеоматериала для оценки расстояния между грузовиком и сельскохозяйственной машиной
Fig.3 – Fragment from video material for assessing the distance between a truck and an agricultural machine

В силу того, что не получилось найти высоту расположения конца дефлектора устройства выгрузки комбайна, придется оценивать искомое значение также из имеющегося материала. Для этого воспользуемся спецификацией, в которой высота транспортируемого BIG X770 $H_{комб}$ = 3,8 м [16]. Полную высоту рукава над уровнем земли $H_{полн}$ мы можем вычислить согласно рисунку 4 как:

$$H_{полн} = H_{комб} + H_{рук} \quad (11)$$

Высоту рукава устройства выгрузки $H_{рук}$ можем приблизительно вычислить на основе рисунка 4. Для этого проведем вертикальную линию вдоль кабины на всю высоту комбайна, потом проведем несколько параллельных линий вдоль краев крыши кабины, после чего проведем параллельно линиям вдоль крыши линию, касающуюся края рукава устройства выгрузки. Таким образом мы получили два отрезка на вертикальной линии.

Соотношение $H_{рук}$ к $H_{комб}$ равно $k_{рук.}$ Тогда формула (11) приобретает вид:

$$H_{полн} = H_{комб}\left(1 + k_{рук}\right) \quad (12)$$

Учитывая, что $k_{рук} \cong$ 0,23, полная высота рукава над уровнем земли будет: $H_{полн}$=3,8·(1+0,23)=4,67 м

Параметры грузовика можно получить из документации. Согласно документации, высота кузова равна примерно 2,63 м [2].

Из чего получим высоту рукава относительно края кузова.

$H_р$=4,67м-2,63м=2,04 м;

Определим, приемлемо ли расположение устройства на конце рукава.

Для этого необходимо воспользоваться формулой (2), предварительно получив параметры из документации [14]: $h_к$ = 1,255 м; $l_к$ = 2,32м;

Параметр k, характеризующий просматриваемость дна, примем равным 0,4.

В силу того, что разброс значений l_c довольно высок, расчет будем вести исходя из верхнего и нижнего значений данного параметра.

Получим минимальную и максимальную высоту стереопары относительно края кузова:

$$h_{смин} = \frac{1{,}255 \cdot (1{,}4 + 0{,}6 \cdot 2{,}32)}{0{,}6 \cdot 2{,}32} - 1{,}255 \approx$$

$$\approx 1{,}26\text{м}$$

$$h_{смакс} = \frac{1{,}255 \cdot (2{,}1 + 0{,}6 \cdot 2{,}32)}{0{,}6 \cdot 2{,}32} - 1{,}255 \approx$$

$$\approx 1{,}89\text{м}$$

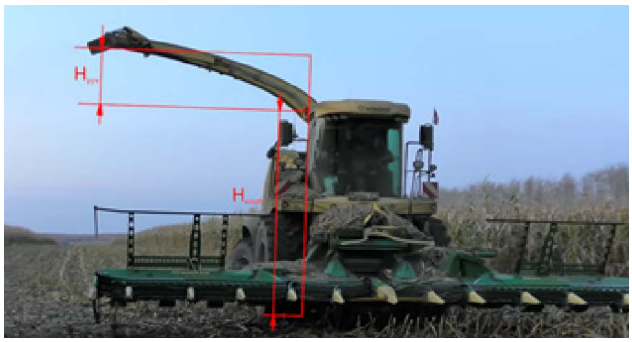


Рис.4 – Фрагмент видеоматериала для оценки высоты сельскохозяйственной машины
Fig.4 – Fragment of video material for assessing the height of an agricultural machine

Чем выше расположим устройство, тем лучше будет видна загруженность грузовика. Так как оба значения меньше Hр, следовательно, можно расположить устройство на такой высоте.

Произведем расчет параметров камеры. Сначала выясним минимальное и максимальное расстояния до края кузова. Для этого воспользуемся формулой (3):

$$L_{мин} = \sqrt{H_р^2 + l_{смин}^2} \approx 2{,}47\text{м}$$

$$L_{макс} = \sqrt{H_р^2 + l_{смакс}^2} \approx 2{,}93\text{м}$$

Рассчитаем по формуле (3) стереобазис по значению Lмакс, чтобы повысить точность фотометрии, так как чем больше расстояние между объектом и стереопарой, тем большая нужна база.

$$b = 0{,}03L_{макс} \approx 0{,}09\text{м} = 9\text{см}$$

Рассчитаем угол обзора камеры по формуле (10). Длина кузова Dк согласно документации примерно равна 5.34 м [2].

В силу слишком большой длины кузова будет сложно отслеживать постоянно на всю длину, так как заполнение кузова происходит постепенно, что приводит к необходимости значения $k_з > 0{,}5$; это означает очень большой угол обзора.

В таком случае мы можем отслеживать целиком положение сначала одной, а потом другой части кузова, однако желательно, чтобы весь кузов попадал в камеру. Это позволяет взять коэффициент kз достаточно большим.

Возьмем параметр $k_з$ равным 0,8. Для расчета будем использовать $L_{мин}$,

$$\alpha = 2arctg\left(\frac{D_к + k_з b}{2k_з L_{мин}}\right) \approx 107^o$$

Желательно взять камеру с большим углом обзора, например, 120°.

Таким образом, параметры работы устройства отслеживания погрузки силосной резки:

стереобазис устройства отслеживания – b=9см;

угол обзора камеры – α=120° ;

место расположения устройства отслеживания – на краю рукава выгрузки комбайна;

высота места расположения устройства отслеживания, относительно кузова – h_c=2,04 м;

удаленность места расположения устройства от кузова – l_c=1,4-2,1 м.

Заключение

Установлено, что расположение устройства отслеживания на силсопроводе является достаточно логичным, так как необходимые условия для отслеживания состояния кузова и его расположения выполнены. Это также означает, что при правильном подборе параметров стереопары и написании достаточно хорошего алгоритма обработки изображений можно получить алгоритм слежения, который позволяет решить проблему выгрузки.

Список источников

1.Волков, И.А. Моделирование движения колесных тракторов. — Самара: СамГТУ, 2020. — 210 с.

2.ВОТ ЭТО МОЩЬ: Кормоуборочный комбайн KRONE BIG X 770 убирает разом 12 рядов кукурузы! [Электронный ресурс] // YouTube-канал LandTech – URL: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=5hRqFqxeMRM

3.Громов, Ю.П. Сельскохозяйственные машины: кинематика и динамика. — Новосибирск: НГТУ, 2018. — 310 с.

4.Иванов, П.А. Кинематика движения машин в сельском хозяйстве. — М.: Наука, 2021. — 300 с.

5.Козлов, Д.В. Программное моделирование кинематики машин. — Москва: МГУП, 2020. — 190 с.

6.Лебедев, А.Н. Применение GPS-навигации в сельском хозяйстве. — Казань: Казанский аграрный университет, 2019. — 230 с.

7.Николаев, К.С. Моделирование движения сельскохозяйственной техники. — Воронеж: ВГТУ, 2020. — 320 с.

8.Орлов, В.Е. Технологии точного земледелия и управление техникой. — Краснодар: КубГАУ, 2019. — 290 с.

9.Павлов, М.В. Современные методы управления движением тракторов. — Екатеринбург: УралНИИТМ, 2021. — 280 с.

10.Петров, И.В. Основы механики сельскохозяй-

ственной техники. — СПб.: СПбГАТУ, 2020. — 270 с.
11.Расчет параметров стереосъемки [Электронный ресурс] // TRIAXES – URL: https://triaxes.com/ru/articles/stereo_shooting_parameters/
12.Сидоров, А.М. Тракторы и их кинематика. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2019. — 250 с.
13.Скрыпицына Т.Н., Уколова А.В. Курс лекций по дисциплинам «Основы архитектурной фотограмметрии» и «Архитектурная фотограмметрия»: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2020. – 127 с.
14.Справочник: КамАЗ-5511 (каталог 2003г.) (5511, 55111)- описание, характеристики, история. [Электронный ресурс] // АвтоАльянс – URL: https://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/truck/kamaz/mark/kamaz-5511
15.Технология возделывания кукурузы [Электронный ресурс] // СкифАгрос – URL: http://skifagros.ru/rekomendacii-dlya-poseva./album/tehnologiya-vozdelyvaniya-kukuruzy.
16.Krone BiG X 770 Specifications & Technical Data (2015-2019) [Электронный ресурс] // LECTURA Specs – URL: https://www.lectura-specs.com/en/model/agricultural-machinery/4wd-forage-harvesters-krone/big-x-770-1163010

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

References

1.Volkov, I.A. Modelirovanie dvizheniya kolesnyh traktorov. — Samara: SamGTU, 2020. — 210 s.
2.VOT ETO MOShch': Kormouborochnyj kombajn KRONE BIG X 770 ubiraet razom 12 ryadov kukuruzy! [Elektronnyj resurs] // YouTube-kanal LandTech – URL: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=5hRqFqxeMRM
3.Gromov, Yu.P. Sel'skohozyajstvennye mashiny: kinematika i dinamika. — Novosibirsk: NGTU, 2018. — 310 s.
4.Ivanov, P.A. Kinematika dvizheniya mashin v sel'skom hozyajstve. — M.: Nauka, 2021. — 300 s.
5.Kozlov, D.V. Programmnoe modelirovanie kinematiki mashin. — Moskva: MGUP, 2020. — 190 s.
6.Lebedev, A.N. Primenenie GPS-navigacii v sel'skom hozyajstve. — Kazan': Kazanskij agrarnyj universitet, 2019. — 230 s.
7.Nikolaev, K.S. Modelirovanie dvizheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. — Voronezh: VGTU, 2020. — 320 s.
8.Orlov, V.E. Tekhnologii tochnogo zemledeliya i upravlenie tekhnikoj. — Krasnodar: KubGAU, 2019. — 290 s.
9.Pavlov, M.V. Sovremennye metody upravleniya dvizheniem traktorov. — Ekaterinburg: UralNIITM, 2021. — 280 s.
10.Petrov, I.V. Osnovy mekhaniki sel'skohozyajstvennoj tekhniki. — SPb.: SPbGATU, 2020. — 270 s.
11.Racchet parametrov stereos"emki [Elektronnyj resurs] // TRIAXES – URL: https://triaxes.com/ru/articles/stereo_shooting_parameters/
12.Sidorov, A.M. Traktory i ih kinematika. — Rostov-na-Donu: Feniks, 2019. — 250 s.
13.Skrypicyna T.N., Ukolova A.V. Kurs lekcij po disciplinam «Osnovy arhitekturnoj fotogrammetrii» i «Arhitekturnaya fotogrammetriya»: Uchebnoe posobie. – M.: MIIGAiK, 2020. – 127 s..
14.Spravochnik : KamAZ-5511 (katalog 2003g.) (5511, 55111)- opisanie, harakteristiki, istoriya. [Elektronnyj resurs] // AvtoAl'yans – URL: https://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/truck/kamaz/mark/kamaz-5511
15.Tekhnologiya vozdelyvaniya kukuruzy [Elektronnyj resurs] // SkifAgros – URL: http://skifagros.ru/rekomendacii-dlya-poseva./album/tehnologiya-vozdelyvaniya-kukuruzy.
16.Krone BiG X 770 Specifications & Technical Data (2015-2019) [Elektronnyj resurs] // LECTURA Specs – URL: https://www.lectura-specs.com/en/model/agricultural-machinery/4wd-forage-harvesters-krone/big-x-770-1163010

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Костенко Никита Михайлович, *магистрант 2 курса направления «Агроинженерия», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», nikitakosten@yandex.ru*

Александр Владимирович Шемякин, *д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», avtodor-dec@ymail.ru*

Рембалович Георгий Константинович, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru*

Костенко Михаил Юрьевич, *д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kostenko.mihail2016@yandex.ru*

Костенко Наталья Алексеевна, *канд. техн. наук, доцент кафедры бизнес-информатики и прикладной математики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kn340010@yandex.ru*

Author information

Kostenko Nikita M., *2nd year Master's student in the field of «Agroengineering», Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, nikitakosten@yandex.ru*

Alexander Vladimirovich Sh, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, avtodor-dec@ymail.ru*

Rembalovich Georgy K, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru*

Kostenko Mikhail Yu., *Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru*

Kostenko Natalya A., *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of business informatics and applied mathematics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kn340010@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 15.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, Т.16, №4, с.107-114
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, p.107-114

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.8
DOI: 10.36508/RSATU.2024.16.19.016

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Виктор Николаевич Мальчиков[1]✉, Вячеслав Викторович Терентьев[2], Иван Александрович Юхин[3], Иван Алексеевич Успенский[4], Дмитрий Сергеевич Рябчиков[5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] malchikovviktor@yandex.ru
[2] vvt62ryazan@yandex.ru
[3]yuival@rambler.ru
[4] ivan.uspensckij@yandex.ru
[5] rds_62@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Транспортировка сельскохозяйственных грузов (в частности, зерновых культур) на автомобильных транспортных средствах является важной составляющей для экономических показателей предприятий агропромышленного комплекса. При перевозке нельзя обойтись без процесса расхода, особенно потребления топлива. В современном мире наблюдается тенденция роста цен на топливо в связи с изменением налоговой политики и состоянием мирового рынка в целом. Цель исследования – применение элементов визуальных и звуковых сигналов как метод предотвращения повышенного расхода топлива.*
Методология. *Процесс уменьшения расхода топливных ресурсов является сложной задачей, которая относится как к производственному процессу, так и к процессу перевозки. При анализе цен на топливо (за 2024 год) среднее значение 1 литра дизельного топлива на территории Рязанской области составило 61,44 рубля. Разработка транспортного средства с оптимальным расходом топлива начинается с момента его проектирования. Вопрос энергоэффективности рассматривается многими учеными, так как данный фактор влияет на всю транспортную систему не только предприятия, но и страны в целом. Помимо конструктивных особенностей транспортных средств, важными элементами в сокращении расходов топлива являются водители, логисты и механики. Данная статья разрабатывалась на базе предприятия ООО «Виктория» (391480, Рязанская область, м.о. Путятинский, с. Строевское, ул. Новая, зд. 4).*
Результаты. *Применение элементов визуальных и звуковых сигналов, как метод предотвращения повышенного расхода топлива из-за увеличения оборотов двигателя, является эффективным и практичным решением. Практическое использование предложенной системы позволит уменьшить расходы топлива транспортных средств. Предложенные элементы системы будут исследоваться в дальнейшем для улучшения работы системы и ее настройки. В плане интеграции данной системы с автомобилем необходимо создание специального модуля с помощью телематики. Работа модуля будет заключаться в автоматическом издании звуковых и световых сигналов при превышении установленных значений для предупреждения водителя транспортного средства о принятии решения в снижении скорости или ускорении. Данное сигнализирование является эффективным способом снижения расхода топлива.*
Заключение. *По результатам применения данной системы можно сделать вывод о том, что она эффективно влияет на работу транспортного средства и способна снизить расход топлива при осуществлении перевозочного процесса.*

Ключевые слова: *перевозка, зерновая продукция, логистика сельскохозяйственных грузов, расход топлива, автомобильный транспорт, оптимизация топливных затрат*

Для цитирования: *Мальчиков В.Н., Терентьев В.В., Юхин И.А., Успенский И.А., Рябчиков Д.С. Влияние параметров транспортировки зерновой продукции на потребление топлива автомобильным транспортом // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.107-114 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.16.19.016*

© Мальчиков В.Н., Терентьев В.В., Юхин И.А., Успенский И.А., Рябчиков Д.С., 2024 г.

Original article

THE INFLUENCE OF GRAIN PRODUCT TRANSPORTATION PARAMETERS ON FUEL CONSUMPTION BY ROAD

Viktor N. Malchikov [1]✉, Vyacheslav V. Terentyev[2], Ivan A. Yukhin[3], Ivan A. Uspensky[4], Dmitry S. Ryabchikov[5]

[1,2,3,4,5] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

[1] malchikovviktor@yandex.ru
[2] vvt62ryazan@yandex.ru
[3] yuival@rambler.ru
[4] ivan.uspensckij@yandex.ru
[5] rds_62@mail.ru

Annotation.
Problem and purpose. *Transportation of agricultural goods (in particular, grain crops) by motor vehicles is an important component for the economic performance of enterprises of the agro-industrial complex. During transportation, it is impossible to do without the consumption process, especially if the fuel consumption is. In the modern world, there is a tendency for fuel prices to rise, due to changes in tax policy and the state of the global market as a whole. Special attention is paid to logistics in order to optimize and reduce fuel consumption during transportation.*
Methodology. *The process of reducing fuel consumption values is a complex task that applies to both the production process and the transportation process. When analyzing fuel prices (for 2024), the average value of 1 liter of diesel fuel in the Ryazan region is 61.44 rubles. Currently, the process of reducing consumption begins with determining the design of its construction and during assembly. The issue of energy efficiency is considered by many scientists, as this factor affects the entire transport system not only of the enterprise, but also of the country as a whole. In addition to the design features of vehicles, drivers, logisticians and mechanics are important elements in reducing fuel costs. This article was developed on the basis of the enterprise Victoria LLC (391480, Ryazan region, M.O. Putyatinsky, Stroevskoye village, Novaya str., zd. 4).*
Results. *The use of visual and audio signal elements as a method of preventing increased fuel consumption due to increased engine speed is an effective and practical solution. The practical use of the proposed system will reduce the fuel consumption of vehicles. The proposed elements of the system will be investigated in the future to improve the operation of the system and its settings. In terms of integration with the car of this system, it is necessary to create a special module using telematics. The operation of the module will consist in the automatic issuance of sound and light signals, when exceeding the set values, to warn the driver of the vehicle about making a decision to reduce speed or accelerate. This signaling is an effective way to reduce fuel consumption.*
Conclusion. *Based on the results of the application of this system, it can be concluded that it effectively affects the operation of the vehicle and is able to reduce fuel consumption during the transportation process.*

Key words: *transportation, grain products, logistics of agricultural goods, fuel consumption, road transport, optimization of fuel costs*

For citation: *Malchikov V.N., Terentyev V.V., Yukhin I.A., Uspensky I.A., Ryabchikov D.S. Influence of grain product transportation parameters on fuel consumption by road // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P. 107-114 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.16.19.016*

Введение

Транспортировка зерновой продукции автомобильным транспортом играет значительную роль в экономике современных аграрных предприятий. Этот процесс сопряжен с рядом затрат, основная часть которых связана с расходом топлива. В условиях непрерывного роста цен на топливо, обусловленного налоговой политикой и колебаниями на мировых рынках, необходимость анализа транспортных маршрутов и разработки стратегий их оптимизации становится как никогда актуальной. Такое положение дел требует использования инновационных решений для минимизации затрат и повышения общей эффективности логистических операций [1-4].

Разработка эффективных стратегий транспортировки зерновой продукции основывается на внедрении современных технологий и автоматизации логистических процессов. Эти инновации открывают новые возможности для снижения топливных расходов и оптимизации маршрутов, что, в свою очередь, делает этот вопрос более выполнимым и экономически оправданным. Системы навигации и мониторинга позволяют находить наиболее экономичные и безопасные пути, что снижает общую протяженность маршрута и улучшает состояние транспортного парка за счет уменьшения износа автомобилей. В результате, применение современных технологий становится важным элементом в достижении топливной эффективности и снижении операционных издержек [5,6].

Эффективность транспортировки в значитель-

ной степени зависит от оптимального использования ресурсов, включая выбор транспортных средств и адекватную оценку состояния дорожной инфраструктуры. Разнообразие моделей грузовых автомобилей и качество дорожного покрытия оказывают непосредственное влияние на топливную экономичность и эксплуатационные расходы [7]. Поэтому внедрение автоматизированных систем управления помогает не только в планировании маршрутов, но и в обеспечении рационального использования транспорта, что минимизирует издержки и повышает устойчивость транспортных процессов в условиях интенсивного движения и удаленности маршрутов [8-10].

Таким образом, использование автоматизированных технологий и систем анализа данных становится ключевым фактором в повышении эффективности транспортных перевозок зерновой продукции. Делаются значительные шаги в усилении взаимодействия между различными участниками логистической цепи, что способствует повышению точности планирования и снижению издержек. Эти мероприятия подчеркивают важность адаптации инновационных решений в современных условиях, делая транспортировку более устойчивой и экономически выгодной как для крупных транспортных предприятий, так и для малых хозяйственных комплексов.

Материалы и методы исследования

Снижение потребления нефтепродуктов является важной и комплексной задачей, влияющей на различные стадии производственного процесса. По данным на 2024 год в Рязанской области литр дизеля стоил в среднем 61,44 рублей. Разработка транспортного средства с оптимальным расходом топлива начинается с момента его проектирования и ассамблеи. Важную роль в обеспечении топливной эффективности играет внимание к эксплуатации, включая техническое обслуживание автопарка, грамотное планирование маршрутов, квалификацию технического персонала и другие факторы (рис 1) [11].

Рис. 1– Факторы, влияющие на расход топлива
Fig.1 – Factors affecting fuel consumption

Анализ параметров транспортировки зерновой продукции представлен следующими аспектами:

1. Влияние расстояния на потребление топлива.

Транспортировка зерновой продукции автомобильным транспортом – это процесс, который неразрывно связан с расходом топлива, а следовательно, с затратами предприятия. Увеличение расстояния транспортировки неизбежно влечет за собой рост топливных расходов, что стимулирует необходимость тщательно анализировать маршруты и разрабатывать стратегии их оптимизации. С учетом роста цен на топливо, предопределяемого текущей налоговой политикой, поиск более эффективных маршрутов становится важной задачей. Это подчеркивает важность подхода, в котором анализируются факторы, влияющие на объем топливных расходов, и выясняется возможность оптимизации издержек путем внедрения инновационных решений.

Современные технологии предоставляют обширные возможности для минимизации затрат на транспортировку зерновой продукции. «Внедрение автоматизации системы транспортной логистики позволяет сократить затраты на машинное топливо, оплату труда водителей и время их работы» [12,13]. Благодаря использованию автоматизированных систем возможно более эффективное планирование маршрутов, что снижает общее время в пути и уменьшает износ транспортных средств.

Интеграция современных технологий также поддерживает эффективность всей транспортной системы за счет улучшения взаимодействия между различными участками логистической цепи. Автоматизация облегчает управление ресурсами, обеспечивая точное планирование и контроль за передвижением автомобилей. Благодаря этому подходу снижается не только расход топлива, но и издержки на содержание транспортных средств.

2. Влияние типа автотранспортного средства на значение расхода топлива.

У каждого индивидуального транспортного средства существует определенное значение расхода топлива. Данный расход считается в литрах на 100 км пути. Значение расхода топлива на 100 км зависит от конструктивных особенностей автомобиля, его массы и грузоподъемности, типа двигателя и некоторых других причин [14]. При выборе транспортного средства для перевозочного процесса анализируются различные параметры технико-эксплуатационных показателей, в том числе и показатель расхода топлива. Грузовые транспортные средства могут перевозить одинаковый объем груза, но при этом иметь разное значение расхода топлива. Иногда экономически выгоднее использовать автомобиль с надлежащей грузоподъемностью, но меньшим расходом топлива. Если вместе с данным анализом использовать автоматизированные средства для контроля и уменьшения расхода топлива, можно значительно сократить экономические затраты на перевозочный процесс, что в свою очередь положительно повлияет и на транспортировку, и на финансовую составляющую предприятия в целом [15].

Перевозка сельскохозяйственных культур в целом выражена большими затратами, так как зачастую необходима работа двигателя во время простоя под погрузкой-разгрузкой транспортного средства. Поэтому внедрение системы снижения расхода топлива является важной составляющей.

3. Влияние качества дорожного покрытия на значение расхода топлива транспортным средством.

Перевозка зерновых культур часто сопровождается движением транспортного средства по дорогам без асфальтного покрытия. Неровности и отсутствие качественного покрытия повышают сопротивление движению, за счет чего увеличивается расход топлива транспортного средства. Это делает улучшение дорожной инфраструктуры первоочередной задачей для поддержания экономичности и экологичности транспортных операций.

Транспортировка зерновой продукции с полей – очень важная задача, так как она осложнена несколькими факторами: некачественным дорожным покрытием, климатическими условиями и пр. При этом процесс не должен нарушаться, так как необходимо сохранение цикла перевозки.

Современные технологии демонстрируют высокий потенциал для оптимизации процессов транспортировки и снижения затрат на топливо. Автоматизация логистических систем, интеграция навигационных решений и использование продвинутого анализа данных являются ключевыми направлениями в повышении топливной эффективности. Они дают возможность более эффективно планировать маршруты и контролировать расход топлива, что особенно важно в условиях роста цен и изменений в налоговой политике государств. Таким образом, инвестиции в технологии не только оправдывают себя с точки зрения экономии ресурсов, но и укрепляют позиции транспортных компаний в условиях глобальной конкурентной среды, подчеркивая их способность адаптироваться к внешним вызовам.

Результаты исследований

Анализ данных и внедрение современных технологий представляют уникальные возможности для оптимизации транспортировки зерновой продукции. В частности, использование автоматизированных систем позволяет предсказывать и корректировать маршруты в реальном времени, тем самым снижая затраты на топливо. Такой подход обеспечивает экономию не только за счет уменьшения пробега, но и благодаря снижению рисков, связанных с простоями и непредвиденными обстоятельствами на дорогах. Комплексные методы обработки данных позволяют не только определить оптимальные маршруты, но и выявлять узкие места в логистических цепочках, что способствует минимизации издержек на каждом этапе перевозки.

Внедрение новых технологий, таких как навигационные системы и мониторинг поведения водителей, помогает существенно повысить общую топливную эффективность. Датчики, установленные на транспортных средствах, предоставляют ценную информацию для анализа стиля вождения, что позволяет вносить коррективы и улучшать навыки водителей. Более точное планирование маршрутов способствует сокращению времени в пути и снижению уровня потребления топлива. Совместно с данными анализом это ведет к значительному сокращению себестоимости транспортных услуг и повышению их эффективности, что особенно актуально в условиях нестабильности цен на энергетические ресурсы.

По результатам анализа параметров транспортировки зерновой продукции было выявлено, что влияние расхода топлива на экономическую эффективность значительно. Одним из способов снижения затрат на топливо и улучшения экономичности автотранспортных средств является контроль и управление оборотами двигателя. При превышении оптимальных оборотов двигателя происходит излишнее потребление топлива, что приводит к увеличению затрат. В данном исследовании предлагается методика снижения расхода топлива грузового автомобиля путем применения звуковой и световой сигнализации при превышении оптимальных оборотов двигателя.

В автомобиле КамАЗ 55102 применяется двигатель КамАЗ 740. На рисунке 2 показана внешняя скоростная характеристика с данными о крутящем моменте, мощности и удельном расходе топлива.

Предложенная методика снижения расхода топлива грузового автомобиля с помощью звуковой и световой сигнализации при превышении оптимальных оборотов двигателя является эффективным способом повышения экономичности автотранспортных средств. Разработка и внедрение данной системы позволит сократить расходы на топливо. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию работы устройства и его адаптацию.

Для автомобиля можно разработать специальное устройство, которое будет подключаться к системе управления двигателем и мониторить обо-

роты двигателя. Когда обороты будут превышать оптимальные значения, устройство будет автоматически выдавать звуковой и световой сигналы, чтобы предупредить водителя о необходимости снизить скорость или повысить передачу.

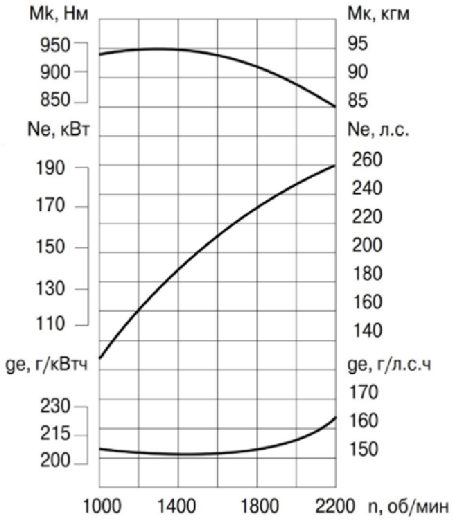


Рис. 2 – Внешняя скоростная характеристика двигателя
Fig.2 – External speed characteristics of the engine

Для создания специального устройства, которое будет сигнализировать водителю о превышении оптимальных значений оборотов двигателя, мы можем использовать следующие материалы:

– сигнальная лампа превышения оборотов (шифт-лампа);

– звуковой сигнализатор (зуммер);

– провода;

– крепежные элементы (саморезы, двусторонняя клейкая лента).

Опишем алгоритм установки предложенного оборудования: сигнальная лампа превышения оборотов подключается к электропитанию автомобиля через замок зажигания, чтобы обеспечить работу только на рабочем автомобиле. Далее к сигнальному проводу тахометра автомобиля подключается провод, который принимает сигнал количества оборотов двигателя (рис. 3).

Для подключения звукового оповещения необходимо подключить излучатель параллельно светодиоду сигнальной лампы (рис. 4).

Затем сигнальная лампа и звуковой сигнализатор закрепляются в удобном для водителя месте (например, на приборной панели). Настройка момента срабатывания сигнализатора происходит путём выбора нужных оборотов на резисторе сигнальной лампы (рис. 5).

Для проверки корректной работы устройства требуется провести запуск двигателя и последующее постепенное увеличение его оборотов. При достижении критического значения оборотов должны активироваться сигнальная лампа и звуковой сигнал. Эти действия позволят комбинированно с световым сигналом вызвать звуковой сигнал от динамика, что обратит внимание водителя и поможет ему понять необходимость переключения передач или снижения оборотов двигателя до оптимального уровня.

Рис. 3 – Сигнальная лампа с настроечным резистором
Fig. 3 – Warning lamp with tuning resister

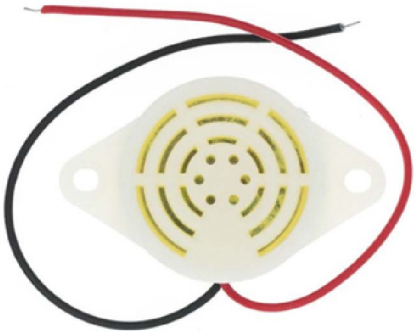


Рис.4 – Звуковой излучатель
Fig. 4 – Sound emitter

Затем сигнальная лампа и звуковой сигнализатор закрепляются в удобном для водителя месте (например, на приборной панели). Настройка момента срабатывания сигнализатора происходит путём выбора нужных оборотов на резисторе сигнальной лампы (рис. 5).

Для проверки корректной работы устройства требуется провести запуск двигателя и последующее постепенное увеличение его оборотов. При достижении критического значения оборотов должны активироваться сигнальная лампа и звуковой сигнал. Эти действия позволят комбинированно с световым сигналом вызвать звуковой сигнал от динамика, что обратит внимание водителя и поможет ему понять необходимость переключения передач или снижения оборотов двигателя до оптимального уровня. Использование звукового сигнала предотвращает отвлечение водителя от управления автомобилем.

На рисунке 6 показана диаграмма топливной экономичности подвижного состава до и после применения методики.

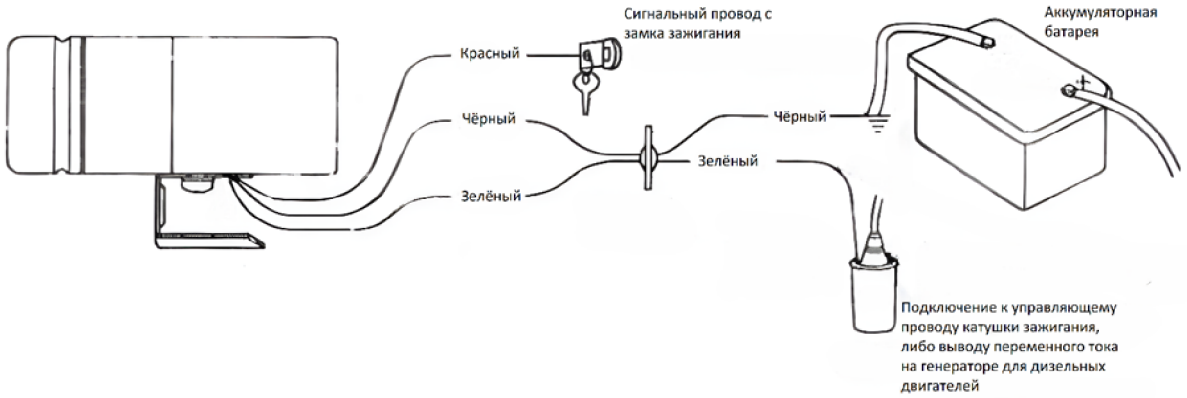


Рис.5 – Схема подключения сигнальной лампы
Fig.5 – Signal lamp connection diagram

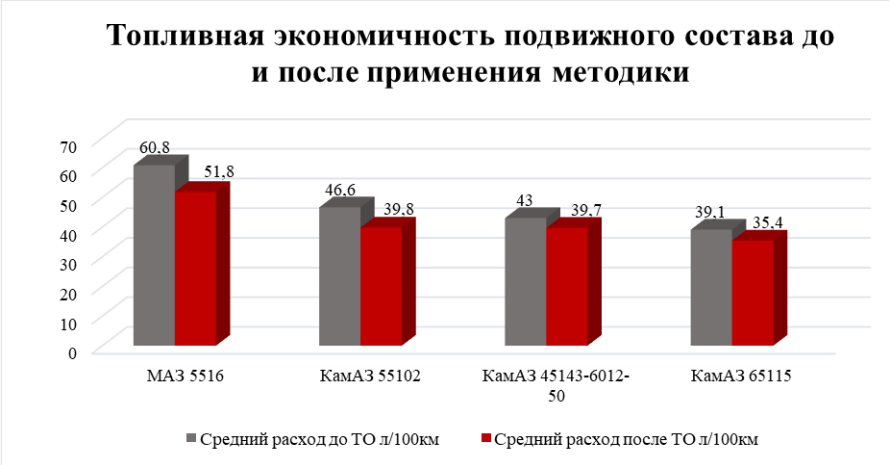


Рис.6 – Топливная экономичность подвижного состава
Fig.6 – Fuel efficiency of rolling stock

Анализ данных и внедрение автоматизированных решений играют ключевую роль в оптимизации топливной эффективности транспортного предприятия. Такие технологии поддерживают логистическую цепочку, позволяя точно управлять перемещениями, сокращать издержки на содержание автопарка и адаптироваться к внешним изменениям. Принимая во внимание разнообразие конфигураций грузовых автомобилей и состояние дорожного покрытия, особое внимание стоит уделить улучшению дорожной инфраструктуры и выбору оптимальных транспортных средств, что в свою очередь способствует повышению общей эффективности перевозок и снижению топливных затрат.

Методика снижения расхода топлива грузового автомобиля с помощью звуковой и световой сигнализации при превышении оптимальных оборотов двигателя является эффективным способом повышения экономичности автотранспортных средств.

Заключение

Помимо национальных транспортных операций, автомобильный транспорт играет важную роль в международной торговле, стимулируя инвестиции в дорожную инфраструктуру. Это подчеркивает важность интеграции национальных и международных стандартов, что в долгосрочной перспективе приведет к уменьшению топливных расходов. Улучшение качества дорог не только поддерживает экономичность и экологичность перевозок, но и повышает конкурентоспособность транспортной отрасли в глобальной среде.

В заключение, интеграция современных технологий в логистических системах на сегодняшний день имеет критическое значение для эффективности транспортировки зерновой продукции. Инвестиции в автоматизацию, навигационные системы и анализ данных являются стратегически важными для снижения топливных затрат и повышения операционной эффективности. Развитие этих направлений способствует успешной адаптации транспортных компаний к экономическим и экологическим вызовам, укрепляя их позиции на конкурентном рынке.

Список источников

1. Абрамова Т.А. Совершенствование транспортной системы на основе логистики (на примере ООО «ЦРА 28»): Выпускная квалификационная работа (Бакалаврская работа). — Тольятти, 2023. — 53 с.

2. Кулагин А.А., Иваненко К.А. Факторы, влияющие на расходы транспортных предприятий // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки. — 2024. — №3 (90).

3. Кулагин А.А., Иваненко К.А. Факторы, влияющие на расходы транспортных предприятий // Научно-практический электронный журнал Аллея

Науки. — 2024. — №3 (90).

4. Терентьев О.В. Оптимизация процесса перевозки грузов / Терентьев О.В., Терентьев В.В. // В книге: Перспективные научные исследования высшей школы. Материалы студенческой научной конференции. Рязань, 2024. С. 316-317.

5. Арапов М.С. Цифровая трансформация в логистике / Арапов М.С., Терентьев В.В. // В книге: Перспективные научные исследования высшей школы. Материалы студенческой научной конференции. Рязань, 2024. С. 272-273.

6. Терентьев О.В. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / Терентьев О.В., Терентьев В.В. // В сборнике: Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры. материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, приуроченной к профессиональному празднику – Дню работника автомобильного транспорта. 2023. С. 177-182.

7. Моросанова, А.А. Цифровая трансформация на транспорте: возможности развития и риски ограничения конкуренции / А.А. Моросанова, А.И. Мелешина, О.А. Маркова // Современная конкуренция. – 2019. Т.13. – № 3 (75). – С. 73-90. – EDN: PXOFKS.

8. Латышенок Н.М. Оптимизация дорожного движения в городах / Латышенок Н.М., Терентьев В.В., Тетерина О.А. [и др.] // В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2022). Сборник научных статей 14-й Международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2022. – С. 163-166.

9. Мальчиков В.Н. Повышение эффективности транспортировки продукции / Мальчиков В.Н., Терентьев В.В. // В сборнике: Теория и практика современной аграрной науки. Сборник VI национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2023. С. 641-644.

10. Рябчиков Д.С. Логистические процессы с сельскохозяйственными грузами на автомобильном транспорте / Шемякин А.В., Мальчиков В.Н., Тетерина О.А., Рябчиков Д.С. // В сборнике: инновационный вектор развития отечественного АПК. Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова. Рязань, 2023. С. 230-236.

11. Автоматизация грузовых перевозок с помощью информационных программ / Рябчиков Д.С., Шемякин А.В., Успенский И.А., Мальчиков В.Н. [и др.] // Воронежский научно-технический Вестник. 2023. Т. 4. № 4 (46). С. 64-77.

12. Некоторые технологические и энергетические аспекты транспортировки сельскохозяйственной продукции в таре / Мальчиков В.Н., Тишкин К.А., Рябчиков Д.С. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15. № 1. С. 144-152.

13. Исхакова А.Ф. Применение искусственного интеллекта //Вестник современных исследований. – 2018. – №. 9.3. – С. 261-262.

14. Терентьев В.В. Аналитика тары для транспортировки зерна / Терентьев В.В., Рябчиков Д.С., Мальчиков В.Н. // В сборнике: Научные приоритеты в АПК: вызовы современности. материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции. Рязань, 2024. С. 430-436.

15. Рябчиков Д.С. Обоснование параметров устройства для транспортировки корнеклубнеплодов. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева"». 2021.

Вклад авторов:
Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заяляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Abramova T.A. Sovershenstvovanie transportnoj sistemy na osnove logistiki (na primere OOO «CRA 28»): Vypusknaya kvalifikacionnaya rabota (Bakalavrskaya rabota). — Tol'yatti, 2023. — 53 s.

2. Kulagin A.A., Ivanenko K.A. Faktory, vliyayushchie na raskhody transportnyh predpriyatij // Nauchno-prakticheskij elektronnyj zhurnal Alleya Nauki. — 2024. — №3 (90).

3. Kulagin A.A., Ivanenko K.A. Faktory, vliyayushchie na raskhody transportnyh predpriyatij // Nauchno-prakticheskij elektronnyj zhurnal Alleya Nauki. — 2024. — №3 (90).

4. Terent'ev O.V. Optimizaciya processa perevozki gruzov / Terent'ev O.V., Terent'ev V.V. // V knige: Perspektivnye nauchnye issledovaniya vysshej shkoly. Materialy studencheskoj nauchnoj konferencii. Ryazan', 2024. S. 316-317.

5. Arapov M.S. Cifrovaya transformaciya v logistike / Arapov M.S., Terent'ev V.V. // V knige: Perspektivnye nauchnye issledovaniya vysshej shkoly. Materialy studencheskoj nauchnoj konferencii. Ryazan', 2024. S. 272-273.

6. Terent'ev O.V. Primenenie iskusstvennogo intellekta v sel'skom hozyajstve / Terent'ev O.V., Terent'ev V.V. // V sbornike: Innovacionnye resheniya v oblasti razvitiya transportnyh sistem i dorozhnoj infrastruktury. materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, priurochennoj k professional'nomu prazdniku – Dnyu rabotnika avtomobil'nogo transporta. 2023. S. 177-182.

7. Morosanova, A.A. Cifrovaya transformaciya na transporte: vozmozhnosti razvitiya i riski ogranicheniya konkurencii / A.A. Morosanova, A.I. Meleshina, O.A. Markova // Sovremennaya konkurenciya. – 2019. T.13. – № 3 (75). – S. 73-90. – EDN: PXOFKS.

8. Latyshenok N.M. Optimizaciya dorozhnogo dvizheniya v gorodah / Latyshenok N.M., Terent'ev V.V.,

Teterina O.A. [i dr.] // V sbornike: Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT - 2022). Sbornik nauchnyh statej 14-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. – Kursk: YuZGU, 2022. – S. 163-166.

9. Mal'chikov V.N. Povyshenie effektivnosti transportirovki produkcii / Mal'chikov V.N., Terent'ev V.V. // V sbornike: Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki. Sbornik VI nacional'noj (vserossijskoj) nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Novosibirsk, 2023. S. 641-644.

10. Ryabchikov D.S. Logisticheskie processy s sel'skohozyajstvennymi gruzami na avtomobil'nom transporte / Shemyakin A.V., Mal'chikov V.N., Teterina O.A., Ryabchikov D.S. // V sbornike: innovacionnyj vektor razvitiya otechestvennogo APK. Materialy III Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskih nauk, professora N.V. Byshova. Ryazan', 2023. S. 230-236.

11. Avtomatizaciya gruzovyh perevozok s pomoshch'yu informacionnyh programm / Ryabchikov D.S., Shemyakin A.V., Uspenskij I.A., Mal'chikov V.N. [i dr.] // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. 2023. T. 4. № 4 (46). S. 64-77.

12. Nekotorye tekhnologicheskie i energeticheskie aspekty transportirovki sel'skohozyajstvennoj produkcii v tare / Mal'chikov V.N., Tishkin K.A., Ryabchikov D.S. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2023. T. 15. № 1. S. 144-152.

13. Iskhakova A.F. Primenenie iskusstvennogo intellekta //Vestnik sovremennyh issledovanij. – 2018. – №. 9.3. – S. 261-262.

14. Terent'ev V.V. Analitika tary dlya transportirovki zerna / Terent'ev V.V., Ryabchikov D.S., Mal'chikov V.N. // V sbornike: Nauchnye prioritety v APK: vyzovy sovremennosti. materialy 75-j yubilejnoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ryazan', 2024. S. 430-436.

15. Ryabchikov D.S. Obosnovanie parametrov ustrojstva dlya transportirovki korneklubneplodov. dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya \"Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva\"». 2021.

Contributions of the authors;
All authors ave made an equialent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Мальчиков Виктор Николаевич, *аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», malchikovviktor@yandex.ru*

Терентьев Вячеслав Викторович, *канд. техн. наук, зав. кафедрой организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, vvt62ryazan@yandex.ru*

Юхин Иван Александрович, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», yuival@rambler.ru*

Успенский Иван Алексеевич, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ivan.uspensckij@yandex.ru*

Рябчиков Дмитрий Сергеевич, *канд. техн. наук, доцент кафедры строительства инженерных сооружений и механики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», rds_62@mail.ru*

Author Information

Malchikov Viktor N., *Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, malchikovviktor@yandex.ru*

Terentyev Vyacheslav V., *Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, vvt62ryazan@yandex.ru*

Yukhin Ivan A., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Avtomotive and Tractor equipment thermal power engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yuival@rambler.ru*

Uspensky Ivan A., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ivan.uspensckij@yandex.ru*

Ryabchikov Dmitry S., *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, rds_62@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 16.11.2024, одобрена после рецензирования 02.12.2024, принята к публикации 12.12.2024

The article was submitted 16.11.2024, approved after reviewing 02.12.2024, accepted for publication 12.12.2024

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 115-121
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 115-121

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.356
DOI: 10.36508/RSATU.2024.49.99.017

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ВСТРЯХИВАТЕЛЯ ЭЛЕВАТОРА В ВИДЕ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО РОЛИКА

Любовь Олеговна Молоканова[1], Георгий Константинович Рембалович[2], Михаил Юрьевич Костенко[3] ✉, Сергей Николаевич Борычев[4], Дмитрий Михайлович Юмаев[5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] pribylova98@inbox.ru
[2] university@rgatu.ru
[3] kostenko.mihail2016@yandex.ru
[4] 89066486088@mail.ru

Аннотация
Проблема и цель. *В 2023 году в России произведено 8,6 млн т картофеля, что на. 18 % больше, чем в 2022 году. Однако в 2024 году площадь под картофелем сократилась на 33,9 тыс. га по сравнению 2023 годом, что привело к снижению валового сбора до 7,2 млн т картофеля. Сокращение площадей вызвано снижением цены на картофель и трудностью осуществления уборки при изменении погодных условий. Существующие картофелеуборочных машины способны осуществлять рабочий процесс только в оптимальных погодных условиях. При изменении условий требуется длительная перенастройка рабочих органов картофелеуборочных машин. Целью исследования является создание адаптивных рабочих органов картофелеуборочных машин для различных почвенно-климатических условий.*
Методология. *Для уборки картофеля применяют картофелеуборочные машины, основным рабочим органом служит прутковый элеватор. При передвижении клубненосного пласта активные встряхиватели, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов, подбрасывают полотно. Индивидуальные мотор-редукторы с управляющим блоком (компьютером) обеспечивают изменение частоты вращения с учетом эксцентриситета ролика и загрузки полотна картофельным ворохом. В процессе работы эксцентрикового ролика происходит крошение и просеивание почвы через прутковое полотно и более качественное выделение клубней картофеля.*
Результаты. *Теоретическими исследованиями установлено, что величина ускорения полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе определяется угловой скоростью и величиной эксцентриситета ролика. Теоретическими исследованиями установлено, что параметрами активного встряхивателя с эксцентриковыми роликами являются: радиус ролика R=0,05м; угловая скорость ω=35-45 рад/с ; угловое ускорение ε=0-5 рад/с^2; эксцентриситет ролика е = 0,01 м.*
Заключение. *Применение эксцентрикового ролика с приводом индивидуальными мотор-редукторами позволяет обеспечить скорость вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе около 1м/с, причем ускорение вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе достигает 15м/с².*

Ключевые слова: *прутковый элеватор, активный встряхиватель, эксцентриковый ролик, картофелеуборочная машина, уборка картофеля*

Для цитирования: *Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю.,Борычев С.Н., Юмаев Д.М. Кинематический анализ активного встряхивателя элеватора в виде эксцентрикового ролика// Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.115-121 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.49.99.017*

© Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю.,Борычев С.Н., Юмаев Д.М, 2024 г.

Original article

KINEMATIC ANALYSIS OF AN ACTIVE ELEVATOR SHAKE IN THE FORM OF AN ECCENTRIC ROLLER

Lyubov O. Molokanova[1], Georgy K. Rembalovich [2], Mikhail Yu. Kostenko [3] ✉, Sergey N. Borychev [4], Dmytry M. Yumaev [5]

[1,2,3,4,5] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1] pribylova98@inbox.ru
[2] university@rgatu.ru
[3] kostenko.mihail2016@yandex.ru
[4] 89066486088@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. *In 2023, 8.6 million tons of potatoes were produced in Russia, which is 18% more than in 2022. However, in 2024, the area under potatoes decreased by 33.9 thousand hectares compared to 2023, which led to a decrease in the gross harvest to 7.2 million tons of potatoes. The reduction in area was caused by a decrease in the price of potatoes and the difficulty of harvesting when weather conditions change. Existing potato harvesters are capable of carrying out the work process only in optimal weather conditions]. When conditions change, a long-term readjustment of the working bodies of potato harvesters is required. The aim of the study is to create adaptive working bodies of potato harvesters for various soil and climatic conditions.*

Methodology. *Potato harvesters are used for harvesting potatoes, the main working body is a rod elevator. When the tuber layer moves, active shakers made in the form of driven eccentric rollers throw up the canvas. Individual gear motors with a control unit (computer) provide a change in the rotation frequency taking into account the roller eccentricity and the loading of the web with a potato heap. During the operation of the eccentric roller, the soil is crumbled and sifted through the rod web and potato tubers are separated more efficiently.*

Results. *Theoretical studies have shown that the acceleration value of the rod elevator web on an active shaker is determined by the angular velocity and the eccentricity of the roller. Theoretical studies have shown that the parameters of an active shaker with eccentric rollers are: roller radius R=0.05 m; angular velocity ω=-35-45 rad/s; angular acceleration ε=0-5 rad/s²; roller eccentricity e =0.01 m.*

Conclusion. The use of an eccentric roller with a drive by individual gear motors allows for a speed along the OY axis of the rod elevator web on an active shaker of about 1 m/s, and the acceleration along the OY axis of the rod elevator web on an active shaker reaches 15 m/s².

Key words: *rod elevator, active shaker, eccentric roller, potato harvester, potato harvesting*

For citation: *Molokonova L.O., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Borychev S.N., Yumaev D.M. Kinematic analysis of an active elevator shaker in the form of an eccentric roller // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol. 16, No. 4, P. 115-121 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.49.99.017*

Введение

В 2023 году в России произведено 8,6 млн т картофеля, что на. 18 % больше, чем в 2022 году. Однако в 2024 году площадь под картофелем сократилась на 33,9 тыс. га по сравнению 2023 годом, что привело к снижению валового сбора до 7,2 млн т картофеля. Сокращение площадей вызвано снижением цены на картофель и трудностью осуществления уборки при изменении погодных условий. Неблагоприятные погодные условия – весенние заморозки и засушливое лето также сказываются на урожайности картофеля. В настоящее время реализуется федеральный проект «Развитие овощеводства и картофелеводства», который необходимо обеспечить совершенной техникой для уборки картофеля [3,4,6,9,12,16]. Существующие картофелеуборочные машины способны осуществлять рабочий процесс только в оптимальных погодных условиях [1,5,7,8,11,12,13]. При изменении условий требуется длительная перенастройка рабочих органов картофелеуборочных машин. Целью исследования является создание адаптивных рабочих органов картофелеуборочных машин для различных почвенно-климатических условий.

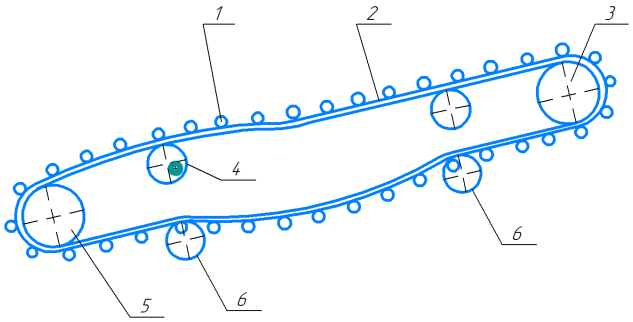
Материалы и методы исследования

Для уборки картофеля применяют картофелеуборочные машины, основным рабочим органом которых служит прутковый элеватор (рис.1)[10,14]. Прутковый элеватор состоит из прутков 1, закрепленных на бесконечных ремнях элеватора 2 и имеет задний приводной вал 3 и передний ведомый вал 5. Под полотном расположены активные встряхиватели 4, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов 4 с обечайкой 9, которые установлены на раме. Эксцентриковые ролики снабжены индивидуальными мотор-редукторами и связаны с управляющим блоком (компьютером). Эксцентриковые ролики имеют обечайку, которая установлена на подшипнике.

При работе картофелеуборочной машины клубненосный пласт с лемеха подается на прутковое бесконечное полотно сепарирующего рабочего органа. При передвижении клубненосного пласта активные встряхиватели, выполненные в

виде приводных эксцентриковых роликов, подбрасывают полотно. Индивидуальные мотор-редукторы с управляющим блоком (компьютером) обеспечивают изменение частоты вращения с учетом эксцентриситета ролика и загрузки полотна картофельным ворохом. Для обеспечения необходимой интенсивности встряхивания имеется возможность изменения частоты вращения мотор-редукторов. В процессе работы эксцентрикового ролика происходит крошение и просеивание почвы через прутковое полотно и более качественное выделение клубней картофеля.

Рассмотрим кинематику эксцентриковых роликов. Расчетная схема к определению подбрасывания полона пруткового элеватора представлена на рисунке 3.



1 – прутки; 2 – ремни элеватора; 3 – приводной вал; 4 - активные встряхиватели, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов; 5 – ведомый вал; 6 – поддерживаюшие ролики

Рис.1 – Схема пруткового элеватора с активными встряхивателями

1 – rods; 2 – elevator belts; 3 – drive shaft; 4 – active shakers, made in the form of driven eccentric rollers; 5 – driven shaft; 6 – supporting rollers

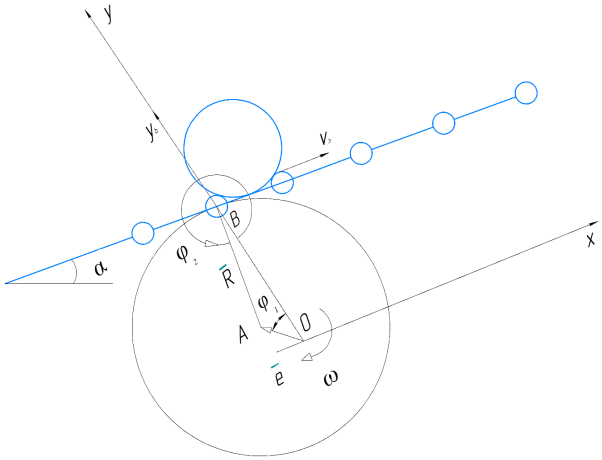
Fig.1 – Diagram of a rod elevator with active shakers

Рис.2 – Общий вид пруткового элеватора с активными встряхивателями

Fig.2 – General view of a rod elevator with active shakers

Представим кинематику эксцентрикового ролика в виде кривошипно-ползунного механизма, где величина эксцентриситета является кривошипом, радиус ролика – шатуном. Тогда перемещение полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси ОУ будет соответствовать движению ползуна.

Рассмотрим треугольник ОАВ, который представляет собой замкнутый контур.



α – угол наклона пруткового элеватора; R – радиус эксцентрикового ролика активного встряхивателя; e – величина эксцентриситета; φ_1 – угол поворота активного встряхивателя; $y_в$ – перемещение активного встряхивателя вдоль оси ОУ

Рис.3 – Расчетная схема кинематического взаимодействия пруткового элеватора с активными встряхивателями

α – angle of inclination of the rod elevator; R – radius of the eccentric roller of the active shaker; e – eccentricity value; φ_1 – angle of rotation of the active shaker; $y_в$ – displacement of the active shaker along the axis OY

Fig.3 – Calculation scheme of the kinematic interaction of the rod elevator with active shakers

Векторное уравнение замкнутого контура для определения перемещения вдоль оси ОУ можно записать в виде

$$\bar{e} + \bar{R} = \bar{y}_в \quad (1)$$

Спроецировав уравнение (1) на оси координат, получим систему:

$$\begin{cases} e\cos\varphi_1 + R\cos\varphi_2 = y_в \\ e\sin\varphi_1 + R\sin\varphi_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где α – угол наклона пруткового элеватора, град;

R – радиус эксцентрикового ролика активного встряхивателя, м;

e – величина эксцентриситета, м;

φ_1 – угол поворота активного встряхивателя, град;

φ_2 – угол взаимного расположения векторов эксцентриситета и радиуса эксцентрикового ролика, град;

$y_в$ – перемещение активного встряхивателя вдоль оси ОУ, м.

Приведем второе уравнение системы (2) к углу поворота эксцентрика φ_1:

$$\sin\varphi_2 = -\frac{e\sin\varphi_1}{R} \quad (3)$$

Или

$$\varphi_2 = \arcsin\left(-\frac{e\sin\varphi_1}{R}\right) \quad (4)$$

Тогда величина перемещение полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси ОУ

$$y_в = e\cos\varphi_1 + R\cos(\arcsin(-\frac{e\sin\varphi_1}{R})) \quad (5)$$

Преобразуем величину

$$\cos\varphi_2 = \cos(\arcsin(-\frac{e\sin\varphi_1}{R})) = \sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}$$

и получим величину перемещения полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси ОУ: (6)

$$y_в = e\cos\varphi_1 + R\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}$$

Определим аналог скорости перемещения вдоль оси ОУ, продифференцировав систему уравнений (2) по обобщенной координате φ_1:

$$\begin{cases} -e\sin\varphi_1 - R\sin\varphi_2\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{dy_в}{d\varphi_1} \\ e\cos\varphi_1 + R\cos\varphi_2\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

где $\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$ – аналог угловой скорости радиуса ролика эксцентрика.

Аналог угловой скорости радиуса ролика эксцентрика определим из второго уравнения системы (7): (8)

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = -\frac{e\cos\varphi_1}{R\cos\varphi_2}$$

Определим аналог скорости перемещения вдоль оси ОУ с учетом уравнения (8): (9)

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = -e\sin\varphi_1 + R\sin\varphi_2\frac{e\cos\varphi_1}{R\cos\varphi_2}$$

Приведем правую часть уравнения (9) к общему знаменателю: (10)

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = \frac{-e\sin\varphi_1\cdot\cos\varphi_2 + e\cos\varphi_1\cdot\sin\varphi_2}{\cos\varphi_2}$$

Применив тригонометрические формулы, можем записать: (11)

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = -e\sin\varphi_1 - \frac{e^2\sin\varphi_1}{R^2}\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}$$

Скорость точки В (полотна элеватора) вдоль оси ОУ $V_в$:

$$V_в = \omega\cdot\frac{dy_в}{d\varphi_1} = \omega\cdot(-e\sin\varphi_1 - \frac{e^2\sin\varphi_1}{R^2}\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}) \quad (12)$$

где ω – угловая скорость ролика эксцентрика.

Определим аналог ускорения перемещения полотна на активном встряхивателе вдоль оси ОУ:

$$\begin{cases} -e\cos\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\cos\varphi_2 - R\sin\varphi_2\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1{}^2} = \frac{d^2y_в}{d\varphi_1{}^2} \\ -e\sin\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\sin\varphi_2 + R\cos\varphi_2\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1{}^2} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

где $\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}$ аналог углового ускорения радиуса ролика эксцентрика.

Аналог углового ускорения радиуса ролика эксцентрика определим из второго уравнения системы (13):

$$\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1{}^2} = \frac{(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\sin\varphi_2 + e\sin\varphi_1}{R\cos\varphi_2} \quad (14)$$

Аналог ускорения перемещения полотна на активном встряхивателе вдоль оси ОУ определим, подставив значение $\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}$ в первое уравнение системы (13):

$$\frac{d^2y_в}{d\varphi_1{}^2} = -e\cos\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\cos\varphi_2 - R\sin\varphi_2\frac{(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\sin\varphi_2 + e\sin\varphi_1}{R\cos\varphi_2} \quad (15)$$

Ускорение точки В (полотна элеватора) вдоль оси ОУ $a_в$: (16)

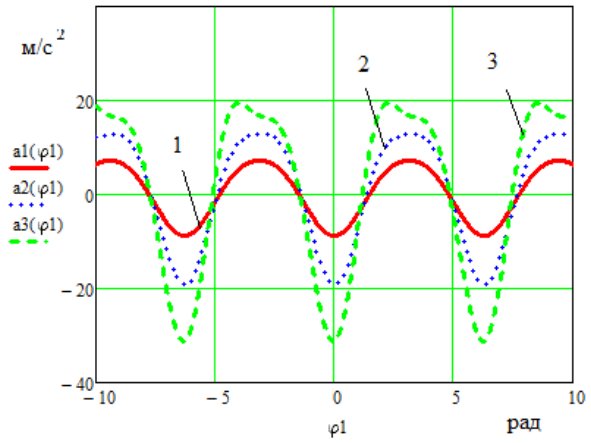
$$a_в = \omega^2\left(-e\cos\varphi_1 - \left(\frac{e\cos\varphi_1}{R\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}\right)^2 R\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}} + R(\frac{e\sin\varphi_1}{R})\frac{\left(\frac{e\cos\varphi_1}{R\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}\right)^2 R(-\frac{e\sin\varphi_1}{R}) + e\sin\varphi_1}{R\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}\right) - \varepsilon\left(e\sin\varphi_1 + \frac{e^2\sin\varphi_1}{R^2}\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}\right)$$

Результаты и обсуждение

Рассчитаем характеристики ускорения точки В (полотна элеватора) вдоль оси ОУ в программе Mathcad, приняв радиус ролика R=0,05м ; угловую скорость $\omega = \frac{40\text{рад}}{\text{с}}$; угловое ускорение $\varepsilon = 1\text{рад/с}^2$ и построим график зависимости (рис. 4).

Анализ зависимости, представленной на рисунке 4, показал, что величина ускорения полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси ОУ определяется угловой скоростью и величиной эксцентриситета ролика. Для снижения износа ролика его окружная скорость должна незначительно отличаться от скорости полотна элеватора, поэтому для обеспечения подброса клубненосного пласта на активном встряхивателе величина эксцентриситета должна быть равна 0,01 м [2,10]. При этих значениях параметров ускорение вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе достигает 15 м/с². Рассмотрим амплитуду подбрасывания полотна и

скорости полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси ОУ, построив их графики в программе Mathcad (рисунки 5,6).

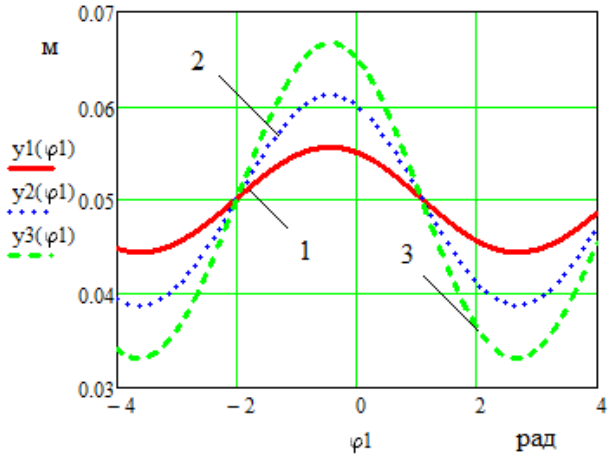


1 – величина эксцентриситета е =0,005 м; 2 – величина эксцентриситета е =0,01 м; 3 – величина эксцентриситета е =0,015 м

Рис.4 – Зависимость ускорения полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси ОУ от угла поворота эксцентрикового ролика

1 – eccentricity value e = 0.005 m; 2 – eccentricity value e = 0.01 m; 3 – eccentricity value e = 0.015 m

Fig.4 – Dependence of the acceleration of the rod elevator web on the active shaker along the OY axis on the angle of rotation of the eccentric roller



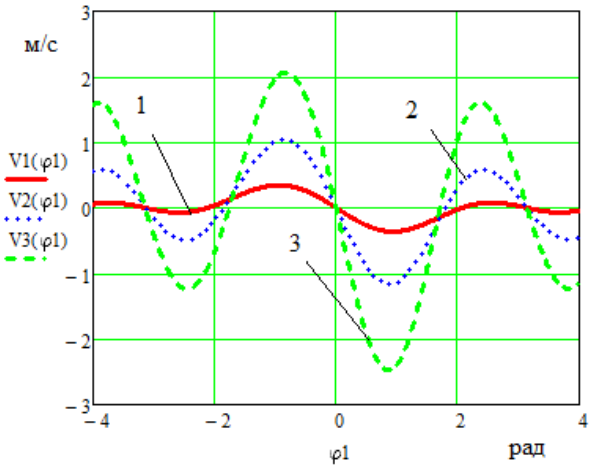
1 – величина эксцентриситета е =0,005 м; 2 – величина эксцентриситета е =0,01 м;
3 – величина эксцентриситета е =0,015 м

Рис.5 – Зависимость перемещения вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе от угла поворота эксцентрикового ролика

1 – eccentricity value e = 0.005 m; 2 – eccentricity value e = 0.01 m; 3 – eccentricity value e = 0.015 m

Fig.5 – Dependence of the displacement along the OY axis of the rod elevator web on the active shaker on the angle of rotation of the eccentric roller

Анализ рисунка 5 показал, что при принятых параметрах и эксцентриситете е =0,01 м перемещение вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе (амплитуда подбрасывания полотна) составляет около 0,02м.



1 – величина эксцентриситета е =0,005 м;
2 – величина эксцентриситета е =0,01 м;
3 – величина эксцентриситета е =0,015 м

Рис.6 – Зависимость скорости полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси ОУ от угла поворота эксцентрикового ролика

1 – eccentricity value e = 0.005 m; 2 – eccentricity value e = 0.01 m; 3 – eccentricity value e = 0.015 m

Fig.6 – Dependence of the speed of the rod elevator web on the active shaker along the OY axis on the angle of rotation of the eccentric roller

Анализ рисунка 6 показал, что при принятых параметрах и эксцентриситете е = 0,01 м поступательная скорость вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе составляет около 1м/с. Таким образом, абсолютную скорость компонентов картофельного вороха определим по формуле:

$$V_к = \sqrt{V_в^2 + V_э^2}$$

Величина абсолютной скорости компонентов картофельного вороха $V_к = \sqrt{1^2 + 2{,}1^2} = 2{,}33 м/с$, что не превышает допустимой скорости падения на металлические поверхности [5,15].

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение эксцентрикового ролика с приводом индивидуальными мотор-редукторами позволяет оперативно регулировать параметры активного встряхивателя в процессе работы уборочной техники [3,4,6,9,16]. Теоретическими исследованиями установлено, что параметрами активного встряхивателя с эксцентриковыми роликами являются:

– радиус ролика R=0,05м ;
– угловая скорость ω=35-45 рад/с ;
– угловое ускорение ε=0-5 рад/с²;
– эксцентриситет ролика е = 0,01 м.

Заключение

Проведенные теоретические исследования показали, что применение эксцентрикового ролика

с приводом индивидуальными мотор-редукторами позволяет оперативно регулировать параметры активного встряхивателя в процессе работы уборочной техники. Применение эксцентрикового ролика с приводом индивидуальными мотор-редукторами позволяет обеспечить скорость вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе составляет около 1м/с, причем ускорение вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе достигает 15м/с²

Список источников

1. Бышов, Н.В. Перспективы картофелеводства в рязанском АПК [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович, А.А. Желтоухов // Статья в журнале: Сельский механизатор. – Москва, 2018. – №2 – С. 17-18.
2. Горячкина, И. Н. Совершенствование технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующего элеватора с интенсификатором активного типа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Горячкина Ирина Николаевна; [Место защиты: Рязан. гос. с.-х. акад. им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2010. - 212 с. : ил.
3. Жевора, С.В. Приоритетные направления инновационного развития картофелеводства [Текст] / С.В. Жевора, Б.В. Анисимов, Е.А. Симаков, Е.В. Овэс, В.И. Старовойтов// Селекция и семеноводство картофеля. – Чебоксары, 2020. С. 20–25.
4. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 [Текст] / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв // Тракторы и сельхозмашины. 2020.– №6. – С. 28-40.
5. Колчин, Н. Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002. – EDN VWFZSW.
6. Колчин, Н. Н. Новая техника для картофелеводства / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006. – EDN WRHHAE.
7. Костенко, М.Ю. Технология уборки картофеля в тяжелых полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: дис. … докт. техн. наук: 05.20.01 / Михаил Юрьевич Костенко. - Рязань, 2011. - 462 с.
8. Лапин, Д.А. Теоретические исследования траекторий движения компонентов картофельного вороха на прутковом элеваторе уборочной машины при работе дисковых интенсификаторов [Текст] / Д.А. Лапин, Д.А. Волченков, И.И. Гришин, Б.А. Нефедов. // Международный научный журнал. – 2017. – N6. – С. 107 – 112.
9. Лачуга, Ю.Ф. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции [Текст] /Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.Х. Шогенов //Техника и оборудование для села. 2018. №7. С. 2-7.
10. Петров, Г. Д. Картофелеуборочные машины [Текст] / Г. Д. Петров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1984. - 320 с
11. Пшеченков, К.А. Технология выращивания и уборки картофеля в центральном регионе России [Текст] / К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.В. Мальцев// Картофелеводство. – 2017. – С. 48-59.
12. Пшеченков, К.А. Технология комбайновой уборки картофеля на суглинистых почвах в центральном регионе России [Текст] / К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов// Картофель и овощи-2018-№4.-С. 19-21.
13. Пшеченков, К.А. Уборка картофеля [Текст] / К.А. Пшеченков, Г.Л. Белов, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов// Земледелие -2018-№5.-С. 23-26.
14. Рембалович, Г.К. Совершенствование первичной сепарации в картофелеуборочных машинах [Текст] / Г.К. Рембалович, Н.А. Рязанов, И.А. Успенский - Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011, №10. - С. 5- 6.
15. Рязанов, Н. А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Рязанов Николай Анатольевич; [Место защиты: Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2012. - 164 с. : ил.
16. Успенский, И.А. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // Статья в журнале: Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. –Волгоград, 2018. – № 49 – С. 262-269

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

References

1. By`shov, N.V. Perspektivy` kartofelevodstva v ryazanskom APK [Tekst] / N.V. By`shov, S.N. Bory`chev, G.K. Rembalovich, A.A. Zheltouxov // Stat`ya v zhurnale: Sel`skij mexanizator. – Moskva, 2018. – №2 – S. 17-18.

2. Goryachkina, I. N. Sovershenstvovanie texnologii uborki kartofelya s obosnovaniem parametrov i rezhimov raboty` separiruyushhego e`levatora s intensifikatorom aktivnogo tipa : dissertaciya ... kandidata texnicheskix nauk : 05.20.01 / Goryachkina Irina Nikolaevna; [Mesto zashhity`: Ryazan. gos. s.-x. akad. im. P.A. Kosty`cheva]. - Ryazan`, 2010. - 212 s. : il.

3. Zhevora, S.V. Prioritetny`e napravleniya innovacionnogo razvitiya kartofelevodstva [Tekst] / S.V. Zhevora, B.V. Anisimov, E.A. Simakov, E.V. Ove`s, V.I. Starovojtov// Selekciya i semenovodstvo kartofelya. – Cheboksary`, 2020. S. 20–25.

4. Izmajlov, A.Yu. Sovremenny`e texnologii i texnika dlya sel`skogo xozyajstva - tendencii vy`stavki AGRITECHNIKA 2019 [Tekst] / A.Yu. Izmajlov, Ya.P. Lobachevskij, A.S. Doroxov, A.V. Sibiryov // Traktory` i sel`xozmashiny`. 2020.– №6. – S. 28-40.

5. Kolchin, N. N. Kak snizit` povrezhdenie klubnej v mashinny`x texnologiyax / N. N. Kolchin, A. G. Ponomarev, S. N. Petuxov // Kartofel` i ovoshhi. – 2019. – № 3. – S. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002. – EDN VWFZSW.

6. Kolchin, N. N. Novaya texnika dlya kartofelevodstva / N. N. Kolchin, A. G. Ponomarev, V. N. Zernov // Kartofel` i

ovoshhi. – 2019. – № 6. – S. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006. – EDN WRHHAE.

7. Kostenko, M.Yu. Texnologiya uborki kartofelya v tyazhely`x polevy`x usloviyax s primeneniem innovacionny`x reshenij v konstrukcii i obsluzhivanii uborochny`x mashin: dis. … dokt. texn. nauk: 05.20.01 / Mixail Yur`evich Kostenko. - Ryazan`, 2011. - 462 s.

8. Lapin, D.A. Teoreticheskie issledovaniya traektorij dvizheniya komponentov kartofel`nogo voroxa na prutkovom e`levatore uborochnoj mashiny` pri rabote diskovy`x intensifikatorov [Tekst] / D.A. Lapin, D.A. Volchenkov, I.I. Grishin, B.A. Nefedov. // Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal. – 2017. – N6. – S. 107 – 112.

9. Lachuga, Yu.F. Intensivny`e mashinny`e texnologii, robotizirovannaya texnika i cifrovy`e sistemy` dlya proizvodstva osnovny`x grupp sel`skoxozyajstvennoj produkcii [Tekst] /Yu.F. Lachuga, A.Yu. Izmajlov, Ya.P. Lobachevskij, Yu.X. Shogenov //Texnika i oborudovanie dlya sela. 2018. №7. S. 2-7.

10. Petrov, G. D. Kartofeleuborochny`e mashiny` [Tekst] / G. D. Petrov. - 2-e izd., pererab. i dop. - M. : Mashinostroenie, 1984. - 320 s

11. Pshechenkov, K.A. Texnologiya vy`rashhivaniya i uborki kartofelya v central`nom regione Rossii [Tekst] / K.A. Pshechenkov, V.N. Zejruk, S.V. Mal`cev// Kartofelevodstvo. – 2017. – S. 48-59.

12. Pshechenkov, K.A. Texnologiya kombajnovoj uborki kartofelya na suglinisty`x pochvax v central`nom regione Rossii [Tekst] / K.A. Pshechenkov, S.V. Mal`cev, A.V. Smirnov// Kartofel` i ovoshhi-2018-№4.-S. 19-21.

13. Pshechenkov, K.A. Uborka kartofelya [Tekst] / K.A. Pshechenkov, G.L. Belov, S.V. Mal`cev, A.V. Smirnov// Zemledelie -2018-№5.-S. 23-26.

14. Rembalovich, G.K. Sovershenstvovanie pervichnoj separacii v kartofeleuborochny`x mashinax [Tekst] / G.K. Rembalovich, N.A. Ryazanov, I.A. Uspenskij - Mexanizaciya i e`lektrifikaciya sel`skogo xozyajstva. 2011, №10. - S. 5- 6.

15. Ryazanov, N. A. Usovershenstvovanny`j texnologicheskij process i intensifikator osnovnogo e`levatora kartofeleuborochny`x mashin : dissertaciya ... kandidata texnicheskix nauk : 05.20.01 / Ryazanov Nikolaj Anatol`evich; [Mesto zashhity`: Ryazan. gos. agrotexnolog. un-t im. P.A. Kosty`cheva]. - Ryazan`, 2012. - 164 s. : il.

16. Uspenskij, I.A. Ocenka perspektivnoj texnologicheskoj sxemy` kartofeleuborochnogo kombajna [Tekst] / I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich, M.Yu. Kostenko, R.V. Beznosyuk // Stat`ya v zhurnale: Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. –Volgograd, 2018. – № 49 – S. 262-269.

Contributions of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Молоканова Любовь Олеговна, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», pribylova98@inbox.ru

Рембалович Георгий Константинович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Костенко Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kostenko.mihail2016@yandex.ru

Борычев Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства инженерных сооружений и механики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», 89066486088@mail.ru

Юмаев Дмитрий Михайлович, ассистент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Author Information

Molokanova Lyubov O., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pribylova98@inbox.ru

Rembalovich Georgy K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Kostenko Mikhail Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Borychev Sergey N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Department of Civil Engineering and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 89066486088@mail.ru

Yumaev Dmitry M., Assistent of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev

Статья поступила в редакцию 03.11.2024; одобрена после рецензирования 24.11.2024; принята к публикации 12.12.2024

The article was submitted 03.11.2024; approved after reviewing 23.11.2024; accepted for publication 12.12.2024

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 122-130
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.122-130

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.5.034
DOI: 10.36508/RSATU.2024.42.37.018

РАЗРАБОТКА ИНКУБАТОРА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO ДЛЯ ВЫВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

Евгений Николаевич Неверов[1]✉, Гузяль Самигуллаевна Ширманова[2], Алена Константиновна Горелкина[3], Александр Александрович Владимиров[4]

[1,2,3,4] ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия

[1] neverov42@mail.ru
[2] minigulova_gs@mail.ru
[3] alengora@yandex.ru
[4] fizickemsu@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Целью данной работы является разработка автоматизированного инкубатора для выведения куриных яиц. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проведение расчёта расходов тепла и влаги в инкубаторе, проектирование и создание конструкции установки, разработка программного обеспечения для контроля работы установки, выбор узлов и составляющих элементов установки, испытания установки.*
Методология. *Научная работа включала компьютерное моделирование (математическое моделирование, 3D-моделирование корпуса и расчёт теплового поля), аддитивные технологии (3D-печать FDM и лазерная резка) для изготовления корпуса и элементов инкубатора, а также разработку и программирование системы автоматического управления на базе микроконтроллера Iskra (аналог Arduino). Изготовление элементов инкубатора осуществлялось с использованием комплектующих отечественных производителей. Исследование включало разработку алгоритмов управления для обеспечения оптимального микроклимата в инкубаторе, а также программирование ЖК-дисплея, датчика BME280 и логики управления на микроконтроллере.*
Результаты. *Удовлетворение высокого спроса на продукцию птицеводства требует использования искусственных инкубаторов для выведения сельскохозяйственной птицы. В современных условиях все больше внедряют отечественные аналоги с использованием микроконтроллеров, что позволяет повысить эффективность процесса инкубации яиц. Разработанный прототип инкубатора был испытан в лабораторных условиях. Получены данные о зависимости температуры от времени при различных значениях коэффициентов ПИД-регулирования. Так же были измерены значения температуры инкубатора при разных количествах нагревателей. Испытания показали, что уменьшение количества нагревателей в инкубаторе ведёт к увеличению времени достижения необходимой температуры.*
Заключение. *В ходе научной работы был разработан и испытан прототип автоматического инкубатора на 10 куриных яиц с микроконтроллерным управлением и функцией записи данных на ПК. Оптимизация конструкции и параметров работы инкубатора (температура, влажность, вентиляция) позволила достичь 80-90 % выводимости яиц. Результаты исследования демонстрируют эффективность использования микроконтроллера Arduino UNO для автоматизации процесса инкубации и повышения его продуктивности.*

Ключевые слова: *инкубация яиц, автоматизированный инкубатор, микроконтроллеры Arduino, температура инкубации, влажность*

Для цитирования: *Неверов Е.Н., Ширманова Г.С., Горелкина А.К., Владимиров А.А. Разработка инкубатора на базе микроконтроллера Arduino для выведения сельскохозяйственной птицы // Вестник Рязанского государственного агротехнического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4. С.122-130 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.42.37.018*

© Неверов Е.Н., Ширманова Г.С., Горелкина А.К., Владимиров А.А., 2024 г.

Original article

DEVELOPMENT OF AN INCUBATOR BASED ON THE ARDUINO MICROCONTROLLER FOR BREEDING AGRICULTURAL POULTRY

Evgeny N. Neverov[1]✉, Guzyal S. Shirmanova[2], Alena K. Gorelkina[3], Alexander A. Vladimirov[4]

[1,2,3,4] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

[1] neverov42@mail.ru
[2] minigulova_gs@mail.ru
[3] alengora@yandex.ru
[4] fizickemsu@mail.ru

Annotation.
Problem and purpose. *The purpose of this work is to develop an automated incubator for hatching chicken eggs. To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks: calculations of heat and moisture consumption in the incubator, design and creation of the installation structure, development of software for monitoring the operation of the installation, selection of units and components of the installation, testing of the installation .*
Methodology. *The research work included computer modeling (mathematical modeling, 3D modeling of the case and calculation of the thermal field), additive technologies (FDM 3D printing and laser cutting) for the manufacture of the case and elements of the incubator, as well as the development and programming of an automatic control system based on the Iskra microcontroller (analogous to Arduino). The manufacture of incubator elements was carried out using components from domestic manufacturers. The study included the development of control algorithms to ensure an optimal microclimate in the incubator, as well as programming the LCD display, BME280 sensor and control logic on the microcontroller.*
Results. *Satisfaction high demand on products poultry farming requires use artificial incubators for hatching poultry . In modern conditions, domestic analogues using microcontrollers are increasingly being introduced, which allows increasing the efficiency of the egg incubation process. The developed prototype of the incubator was tested in laboratory conditions. Data were obtained on the dependence of temperature on time for different values of the PID control coefficients. The incubator temperature values were also measured with different numbers of heaters. The tests showed that a decrease in the number of heaters in the incubator leads to an increase in the time it takes to reach the required temperature.*
Conclusion. *During the research, a prototype of an automatic incubator for 10 chicken eggs with microcontroller control and a function for recording data on a PC was developed and tested. Optimization of the design and operating parameters of the incubator (temperature, humidity, ventilation) made it possible to achieve 80-90% of egg hatchability. The results of the study demonstrate the effectiveness of using the Arduino UNO microcontroller to automate the incubation process and increase its productivity.*

Key words: *egg incubation, automated incubator, Arduino microcontrollers , incubation temperature, humidity*

For citation: *Neverov E.N., Shirmanova G.S., Gorelkina A.K., Vladimirov A.A. Development of an incubator based on the A rduino microcontroller for breeding agricultural poultry // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P 122-130. https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.42.37.018*

Введение

Развитие сельского хозяйства и обеспечение продовольственной безопасности являются одними из важнейших задач современного общества. Удовлетворение высокого спроса на продукцию птицеводства требует использования искусственных инкубаторов для выведения сельскохозяйственной птицы. Использование современных технологий, таких как микроконтроллеры и автоматизация процессов, позволяет существенно повысить эффективность инкубации яиц сельскохозяйственной птицы.

Диапазон температур, влажность и скорость потока воздуха в инкубаторе являются связанными факторами. Если внутренняя температура инкубатора для птиц контролируется, то и относительная влажность также контролируется. В настоящее время все чаще для управления работой инкубатора использует различные микроконтроллеры, применяемые в робототехнике.

Общей проблемой в данной области является определение нормальных условий для инкубации яиц. Смерть эмбриона может наступить на каждой стадии его развития, и диагностика причин смерти эмбриона и её предотвращение являются задачами, решаемыми в ходе разработки новых конструкций инкубаторов.

В условиях ограниченного доступа к зарубежным моделям инкубаторов возникла необходимость в разработке и внедрении большего количества отечественных аналогов.

В работе [1] спроектирован и сконструирован инкубатор с источником тепла в виде лампы накаливания для выведения перепелиных яиц с использованием микроконтроллера Arduino с номинальной мощностью не менее 500 Вт. Представленная система была спроектирована и изготовлена с целью создания недорогого и энер-

гоэффективного домашнего инкубатора для выведения цыплят японских перепелов.

В работе [2] проведено исследование по проектированию и разработке базового инкубатора для яиц с микроконтроллером для мелкосерийного птицеводства. Инкубатор был оснащен микроконтроллерами для управления поворотом яиц, нагревателем и циркуляционным вентилятором. Он был спроектирован для работы при средней температуре 38° С. Вращатель яиц работает со скоростью 10 циклов в минуту в течение 30 секунд каждые 6 часов, а циркуляционный вентилятор включается каждый час на 30 секунд для циркуляции воздуха внутри инкубатора.

Для инкубации утиных яиц в рамках исследования [3] был разработан прототип инкубатора с использованием микроконтроллера Arduino Uno. Первым шагом в управлении температурой является определение заданного значения температуры. Для считывания температуры в работе используется датчик NTC 10K, который выдает информацию об измерении температуры, которая может быть обработана микроконтроллером на Arduino.

Основная цель работы [4] – спроектировать и сконструировать интеллектуальный инкубатор для яиц на солнечных батареях на базе GSM/IoT, который ограничивает контакты с людьми в инкубационном цикле для удовлетворения глобальных потребностей в белке. В качестве компонентов используются плата Arduino UNO, GSM shield v2, ЖК-дисплей, датчик DHT 22 и т.д. Зарегистрированные показатели выводимости составили 97,14 %, 95,45 %, 95,6 % и 95,24 %.

В работе [5] был разработан автоматический инкубатор Smart Egg, представляющий устройство на базе микроконтроллера. Оно оснащено автоматическим переключателем, датчиком DHT22, двигателем постоянного тока, вращающим яйцо под углом 45° каждый час, звуковой датчик улавливает звук, производимый суточными цыплятами, оповещая о выведении цыплят. ЖК-дисплей отображает состояние температуры и влажности инкубатора. Для удаленного мониторинга используется GSM-модуль.

Для фермеров, выращивающих перепелов, вывод большого количества яиц является проблемой при выращивании перепелов, которые высиживаются родителями вручную. В исследовании [6] описывается разработка интеллектуального инкубатора для перепелиных яиц. Интеллектуальный инкубатор Quail Eggs, применяемый для выведения перепелиных яиц на перепелиной ферме CV Slamet, Сукабуми, Индонезия, показывает наилучшие результаты при выведении перепелиных яиц. Из 490 яиц за 17 дней инкубационного периода успешно вылупились 87,55 % перепелиных яиц, из которых нормально вылупились 0,41 %, но с дефектами; 1,84% вылупились, но погибли, и 10,20 % не вылупились из 490 яиц.

При проведении исследования [7] авторы проводят наблюдения непосредственно на ферме. Затем это наблюдение было подкреплено изучением литературы, посвященной устройству для инкубации яиц. Производительность автоматических машин для инкубации яиц, разработанных в рамках данного исследования, позволяет увеличить процент выведения яиц до 95 %.

Исследование [8] направлено на изменение конструкции экономичного автоматизированного инкубатора для яиц. В инкубаторе, разработанном в рамках данного исследования, используется автоматическое управляемое устройство, поддерживающее влажность и температуру и обеспечивающее автоматическую смену лотков. Исследование показало, что эффективность выведения цыплят в разработанном инкубаторе колеблется в пределах 80-93 % и в среднем составляет 86,5 %. При этом количество выведенных яиц составило 56 (93 %) утиных яиц и 48 (80 %) куриных яиц.

Исследовательский проект [9] сосредоточен на проектировании и разработке автоматизированного гибридного инкубатора для яиц с резервным источником питания. Авторы данного проекта ориентировались на решения в конструкции инкубатора, описанные в статьях [10-13]. Новизна исследовательского проекта заключается в интегрировании технологических инноваций, автоматизации и ориентированным на местное сообщество подходом, направленным на улучшение процесса инкубации яиц, увеличение доли выведенных яиц и повышение экономической эффективности.

В исследовании [14] представлены проектирование и разработка инкубатора для куриных яиц. Контроль и мониторинг температуры куриных яиц в инкубаторе производится с помощью управляющей программы. Методология, использованная для разработки данного прототипа, представляет собой адаптацию модели прототипа, состоящую из 5 этапов: анализ требований, первоначальный проект, создание прототипа, оценка и обслуживание.

Анализируя записанные данные температуры инкубатора при различных параметрах, пользуясь результатами исследований [16-19], авторы статьи [15] пришли к выводу о высокой точности метода нечёткой логики. ПИД-регулятор обладает гибкой реакцией на изменение параметров системы. Это может помочь очень эффективно контролировать температуру этой системы. Результат показывает, что нечеткое ПИД-регулирование более эффективно, чем конвенциональный контроллер.

Авторами работы [20] учтены необходимые факторы, влияющие на инкубацию и, исходя из этого, выбраны материалы для создания автоматизированного инкубатора. В автоматизации инкубатора авторы опирались на статьи [21-24]. Используемая древесина оптимально сохраняет тепло, поэтому потери минимальны. Инкубатор портативен, прост в обслуживании. В качестве управляющего элемента использован микроконтроллер Arduino. Лампа мощностью 100 Вт применяется в качестве источника тепла, а также вентиляторы служат для циркуляции воздуха.

Исследование [25] было проведено с целью определения оптимальной конструкции инкубатора для яиц. В первую очередь рассмотрены наиболее важные факторы, включая размеры каждого элемента. Энергия, необходимая для периодов работы установки, была рассчитана. Время экс-

плуатации состоит из двух периодов (17 дней и 21 день). Результаты показали высокую эффективность.

При проектировании и изготовлении инкубатора для яиц авторами статьи [26] были успешно использованы питание от электросети и аккумулятор в качестве источника питания. Были рассмотрены принципы теплопередачи и среднегодовые данные температуры. Разработанный электрический инкубатор с аккумуляторами и инвертором вмещал 1000 куриных яиц. Температура и относительная влажность наблюдались и надлежащим образом регулировались с помощью соответствующих датчиков. Из результатов тестирования и анализа затрат видно, что изготовленный инкубатор является относительно дешёвым, эффективным и долговечным.

Материал и методы исследования

Решение выше описанных задач произведено посредством компьютерного моделирования (использование математических пакетов для вычислений, создание трёхмерной модели корпуса инкубатора и расчёт распределения тепла в объёме стенок корпуса, в воздухе в камере инкубатора), трёхмерной FDM-печати и лазерной резки (изготовление корпуса и элементов крепления).

В рамках данной работы разработана модель инкубатора, составные элементы которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составные элементы инкубатора

№ п/п	Элемент	Описание
1	Iskra UNO или Arduino Uno	Управляющий элемент
2	Реле	Обеспечивает включение/выключение нагревателя и вентилятора
3	Керамический нагреватель PTC	Напряжение 12 В,мощность 120 Вт
4	Метеодатчик BME280	Измеряет температуру, влажность, давление
5	Термодатчик DS18B20	Цифровой датчик температуры
6	ЖК-экран 16x2	Монохромный символьных экран
7	Тактовая кнопка	Отвечает за вход в спящий режим и выход из него
8	Соединительные провода	Поперечное сесение 1,5 мм²
9	Корпус	Обеспечивает оптимальное раположение всех элементов и мироклимат

Все элементы инкубатора изготовлены отечественными производителями. Отличительной особенностью инкубатора в сравнении с его аналогами является оптимальное автоматизированное регулирование микроклимата. Схема инкубатора представлена на рис. 1.

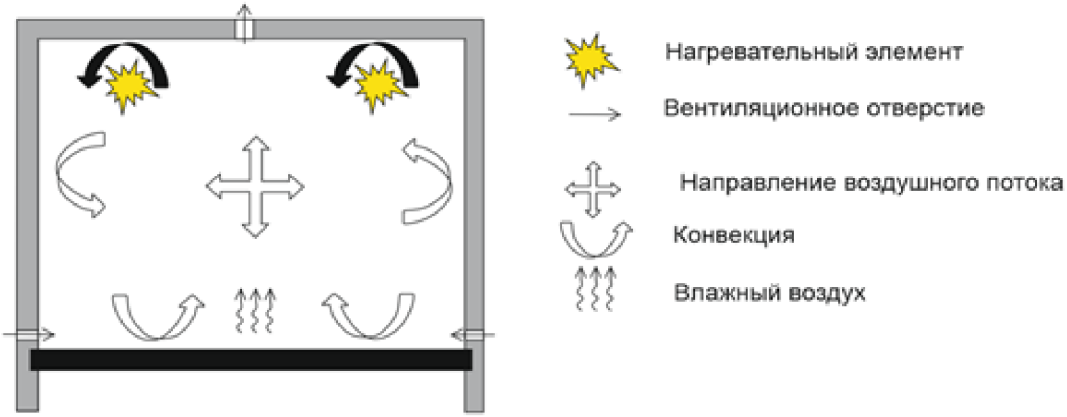
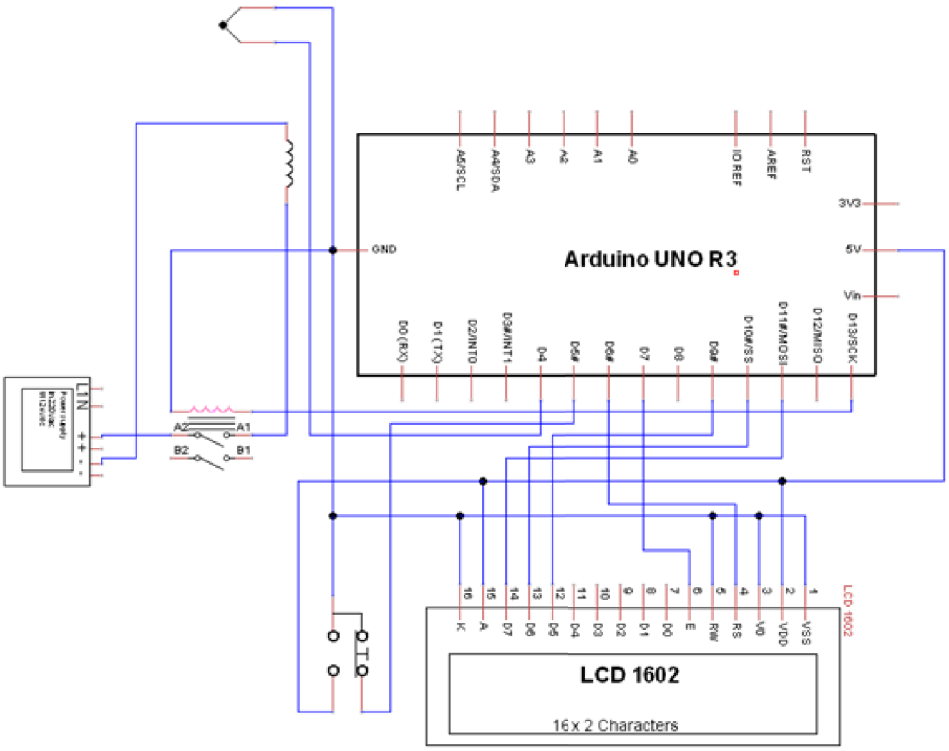


Рис. 1 – Схема движения воздуха в прототипе инкубатора
Fig. 1 – Air flow diagram in the prototype incubator

На рисунке 2 представлена принципиальная схема установки.

Выбор контроллера Iskra аналога Arduino был одним из ключевых моментов при создании данного инкубатора, так как Arduino прост в программировании и обладает функциональными возможностями, облегчающими автоматизированное управление. Программирование микроконтроллера Arduino требует знания языка программирования Arduino, родственного языку программирования C++. При этом процесс написания программ облегчён наличием среды разработки Arduino, позволяющей взаимодействовать со всеми моделями микроконтроллеров Arduino. Процесс програм-

мирования включал в себя программирование ЖК-дисплея, датчика температуры и влажности BME280 и логики управления на микроконтроллере. Схема управления работой нагревательной системы инкубатора показана на рисунке 3.



ис. 2 – Схема подключения различных элементов прототипа инкубатора
Fig. 2 – Connection diagram of various elements of the incubator prototype

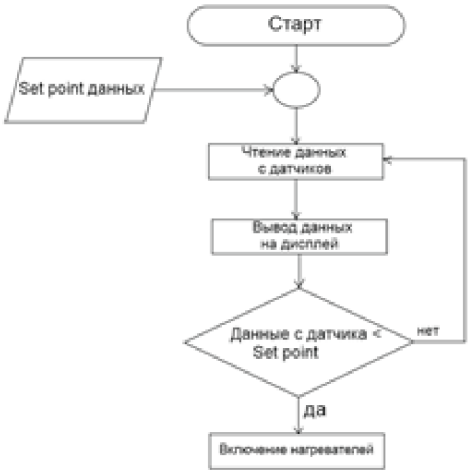


Рис. 3 – Схема управления работой инкубатора
Fig. 3 – Incubator control diagram

Основным источником тепла в инкубаторе является токопроводящий ленточный нагреватель PTC (12V120W) с вентилятором, поэтому для управления включением/выключением используется релейный модуль. Это необходимо для того, чтобы температура, создаваемая нагревателем, была стабильной в соответствии с требованиями, предъявляемыми к процессу выведения цыплят. Влажность в ходе экспериментов варьировалась за счет лотка с водой, установленного в инкубаторе и системы долива, установленной вне инкубатора. Для считывания температуры и влажности используется датчик BME280, который выдает информацию об измерении температуры, которая обрабатывается микроконтроллером на Arduino.

Программа предназначена для контроля и управления устройством нагревания воздуха для работы инкубатора на базе микроконтроллера ATmega328. Функционал программы включает в себя чтение и запись значений температуры нагревателя, влажности, давления и температуры окружающего воздуха, времени в секундах с момента включения устройства и их вывода на монохромный жидкокристаллический символьный экран 16x2.

При превышении записанного в коде программы значения температуры (38,3° C) происходит выключение нагревательного элемента, включение происходит при падении температуры ниже заданного в программе предела (38,3° C). Возможно включение спящего режима.

Органом управления устройством является тактовая кнопка, отвечающая за вход в спящий режим и выход из него.

Для работы программы импортируются библиотеки и модули: GyverBME280 (для управления многофункциональным датчиком температуры, давления и влажности), LiquidCrystal (для управления монохромным жидкокристаллическим символьным экраном 16x2), OneWire и DallasTemperature (для работы с термодатчиком). На рисунке 4 показана схема управления процессом.

Рис. 4 – Схема управления процессом
Fig. 4 – Process control diagram

Для управления всеми элементами, входящими в схему устройства (реле, охладительный элемент, нагревательный элемент, символьный экран, датчик температуры, многофункциональный датчик, кнопка), в коде программы задаются переменные номеров контактов микроконтроллера Atmega328, к которым подключены данные элементы. Задаются целые переменные времени с момента включения устройства и номера нажатия на кнопку (при чётных значениях запускается цикл измерения параметров и их вывода на экран с включением нагревательного элемента в зависимости от температуры нагревателя, при нечётных – вход в спящий режим с выводом на экран соответствующей надписи и времени в секундах с момента включения устройства). Переменная очерёдности вывода на символьный экран четырёх измеряемых параметров (кроме времени) имеет значение 0 и увеличивается на единицу с каждым считыванием датчиком температуры и обращается в ноль при достижении значения 4. Данная переменная нужна для поочерёдного вывода на символьный экран значений температуры воздуха у нагревателя и в помещении, влажности и давления окружающего воздуха. Измеряемые параметры не только выводятся на символьный экран, но и пересылаются по последовательному интерфейсу на ПК, где записываются в CSV-файл дополнительной программой (рис. 5) на языке Python 3.9.0. Программа готова к работе в реальном времени.

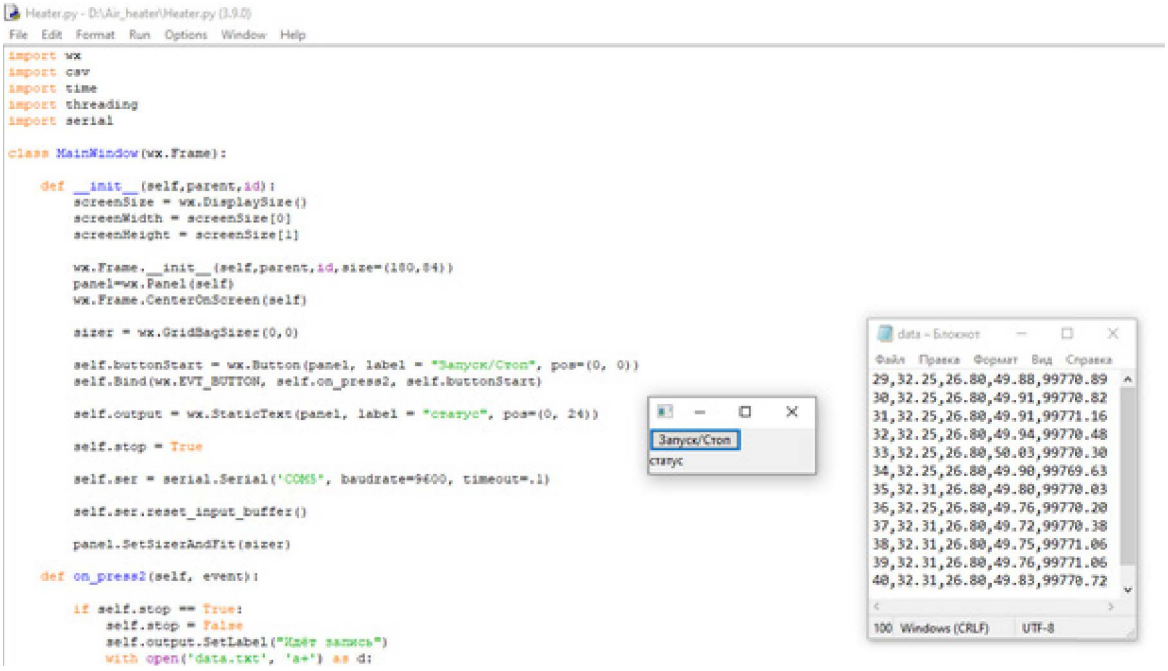


Рис. 5 – Код записывающей программы в среде разработки Python IDLE, окно программы и записанные данные
Fig. 5 – Code of the recording program in the Python development environment IDLE , program window and recorded data

Записывающая программа на языке Python 3.9.0 имеет оконный интерфейс, включающий в себя окно с экранной кнопкой «Запуск/Стоп» и статическим текстом, отображающим статус («Идёт запись» и «Запись остановлена»). Для работы программы импортируются библиотеки wx (для создания оконного интерфейса), csv (для работы с CSV-файлами), time (для работы со временем), threading (для прерывания процессов), serial (для работы с последовательным портом). Задаются переменные, отвечающие за остановку записи, элементы окна, последовательный порт. Нажатие

экранной кнопки «Запуск/Стоп» запускает запись параметров в CSV-файл, если запись не производится, и останавливает запись в случае ведения записи. В CSV-файл параметры записываются в следующем порядке:

1) момент времени в секундах с подачи питания;
2) температура нагревателя;
3) температура инкубатора;
4) влажность в инкубаторе;
5) давление в инкубаторе.

Изменение параметров инкубации (целевой температуры, максимально допустимой влажности, интенсивности проветривания и т. д.) может производиться за счёт тактовых кнопок, отвечающих за уменьшение и увеличение параметров на единицу и за ввод новых параметров.

Модель инкубатора, составленная из выше описанных элементов, была испытана при различном количестве встроенных нагревателей.

Результаты исследований и обсуждение

Разработанный прототип инкубатора был испытан в лабораторных условиях. Испытана работа ПИД-регулятора. Получены графики (рис. 6) зависимости температуры от времени при различных значениях коэффициентов ПИД-регулирования на протяжении семидесяти минут. При значениях коэффициентов Kp = 0,1, Ki = 0,5, Kd = 0,1 происходит значительное повышение значения статистической ошибки из-за неоптимальных коэффициентов PID-регулирования. Температура после достижения температуры инкубации (38,3° С) на 0,1° С превышает целевое значение. Во случае коэффициентов Kp = 0,15, Ki = 0,75, Kd = 0,05 регулирование происходит более плавно, но не без значительного превышения предельной температуры. Значения коэффициентов PID-регулирования Kp = 0,2, Ki = 0,1, Kd = 0,01 оказались оптимальными, при них статистическая ошибка температуры не превышает 0,05º С.

В течение суток измерены значения температуры инкубатора при разных количествах нагревателей. Ниже представлен график температуры инкубатора с четырьмя нагревателями в течение суток (рис. 7).

Испытания показали, что уменьшение количества нагревателей в инкубаторе ведёт к увеличению времени достижения необходимой температуры, что наглядно иллюстрирует график зависимости температуры инкубатора от времени (рис. 8).

Измерения в обоих случаях производились с интервалом в 10 минут. Красной горизонтальной пунктирной линией на графиках отмечено заданное значение температуры инкубатора. Нагреватели были включены на протяжении пяти часов в течение суток в случае четырёх нагревателей, и девяти часов – в случае с двумя.

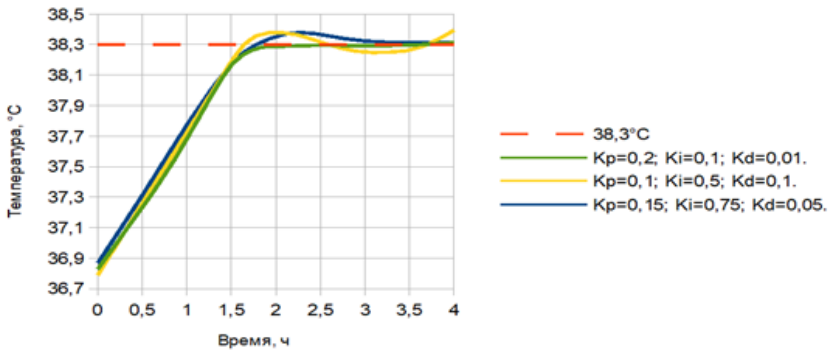


Рис. 6 – Графики зависимости температуры от времени при различных коэффициентах PID-регулирования
Fig. 6 – Graphs of temperature dependence on time for different PID control coefficients

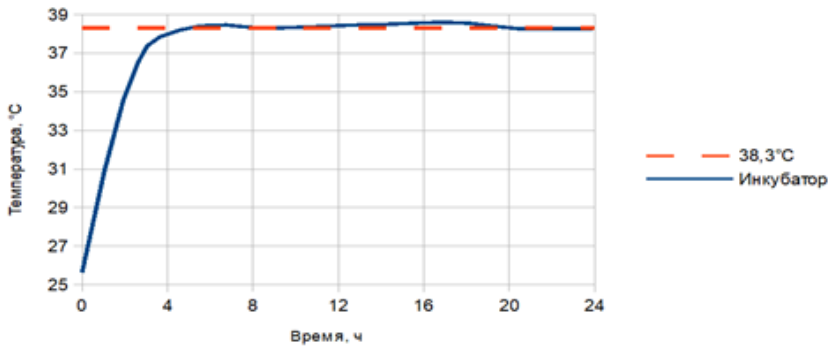


Рис. 7 – График нагрева для инкубатора (4 нагревателя)
Fig. 7 – Heating schedule for the incubator (4 heaters)

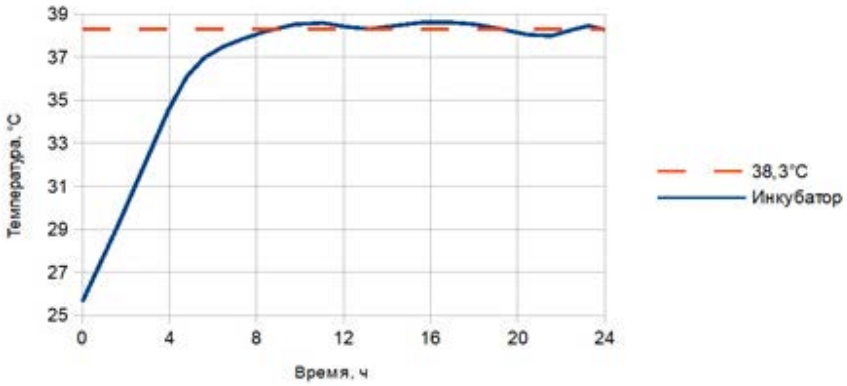


Рис. 8 – График нагрева для инкубатора (2 нагревателя)
Fig. 8 – Heating schedule for incubator (2 heaters)

Заключение

В ходе данной научной работы был разработан и испытан прототип автоматического инкубатора с вместимостью 10 куриных яиц, управляемого микроконтроллером, с функцией записи данных с датчиков на персональный компьютер по последовательному интерфейсу (с подключением USB-кабеля). Наиболее важным фактором для выводимости яиц является температура инкубатора. Второстепенными факторами являются уровень влажности в инкубаторе и вентиляция камеры инкубатора. В ходе экспериментов было установлено, что поддержание влажности на уровне 65-70 % в выводном периоде оптимально для хорошего процента выводимости куриных яиц.

Было найдено оптимальное количество и расположение нагревателей в камере инкубатора. Разработанная конструкция инкубатора, которая включает в себя: микроконтроллер ATmega328,

ленточный нагреватель PTC (12V120W) с вентилятором, датчик температуры и влажности BME280 позволяет поддерживать температуру и влажность в камере инкубатора в заданных пределах. Такие условия контроля температуры под управлением микроконтроллера Arduino позволят добиться обеспечения выводимости куриных яиц 80-90 %.

Список источников

1. Kyeremeh F., Peprah F. Design and Construction of an Arduino Microcontroller-Based Egg Incubator //International Journal of Computer Applications. – 2017. – Т. 168. – №. 1. – С. 15-23.

2. Paguntalan B. R., Oquino V. H. Design and development of a microcontroller based egg incubator for small scale poultry production //Global Journal of Science Frontier Research. – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 43-48.

3. Swastika R., Rohman E., Aribowo B. The Prototype Design of Duck Egg Incubator Machine Using Arduino Uno R3 Microcontroller. – 2023.

4. Peprah F. et al. Design and construction of smart solar powered egg incubator based on GSM/IoT //Scientific African. – 2022. – Т. 17. – С. e01326.

5. Fredrick O. M. et al. Design and implementation of a remotely monitored smart egg incubator //International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2021. – Т. 12. – №. 11. – С. 1009-1017.

6. Sanjaya W. S. M. et al. The development of quail eggs smart incubator for hatching system based on microcontroller and Internet of Things (IoT) //2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT). – IEEE, 2018. – С. 407-411.

7. Faroqi A. et al. Design of arduino uno based duck egg hatching machine with sensor DHT22 and PIR sensor //2020 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). – IEEE, 2020. – С. 1-4.

8. Mariani M. J. P. et al. Design modification of a cost-efficient microcontroller-based egg incubator // Indian journal of Science and Technology. – 2021. – Т. 14. – №. 14. – С. 1160-1167.

9. Maroma, Allen N.; Maroma, Dolly P.; and Pangilinan, Bernardo A. (2023). Development of Automated Egg Incubator With Backup Power Supply. ASEAN Journal of Community Engagement, 7(2), 151-164. Available at: https://doi.org/10.7454/ajce.v7i2.1222

10. Adame, M. M., Yusuf, Y., & Kuda, N. T. (2023). Influences of types of incubators on hatchability of eggs. Advances in Applied Sciences, 8(3), 80–85. https://doi.org/10.11648/j.aas.20230803.13

11. Agbo, D. O., Otengye, O. J., & Dodo, S. H. (2018). Proposed development of a solarpowered automated incubator for chickens. International Journal of Engineering and Techniques, 4(1), 517–524. https://doi.org/10.29126/23951303/IJET-V4I1P69

12. Aru, O. E. (2017). Development of a computerized engineering technique to improve incubation system in poultry farms. Journal of Scientific and Engineering Research, 4(6), 109–119.

13. Benjamin, N., & Oye, N. D. (2012). Modification of the design of poultry incubator. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 1(4), 90–102.

14. Hashim et al., Development of Chicken Egg Incubator Prototype with Blynk Notification. Research and Innovation in Technical and Vocational Education and Training Vol. 3 No. 1 (2023) p. 1-11.

15. Rahman M, Islam M, Barua R, Mohammad N. Simulation of an Energy Saving Egg Incubator. In 5th International Conference in Industrial and Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM) 2022 Dec 26, https://doi.org/10.46254/

BD05.20220046.
16. Bhosale, Jagriti and H.G, Development of Smart Egg Incubator System using Arduino, International Journal of Engineering Science and Computing, vol.8, no.3, pp.16598-16600,2018.
17. Chougule, Virashree, Smart Egg Incubator, International journal of advance Scientific Research and Engineering Trends Electrical Vol. 6, no. 2456-0774, 2021.
18. Ganiyat, Iyanda, Design of a portable solar powered solar incubator, International Journal of Engineering and Advanced Technology, vol. 9, no. 2249 – 8958, April, 2020.
19. Kapen ,M. and Foutse, Design and prototyping of a low-cost, energy efficient eggs incubator in developing countries: A case study of Cameroon, African Institute of Mathematical Sciences, vol.10, no. e00618 , 2020.
20. Iyen, C. & Wunuken, E. (2024). Development of a Low Cost Poultry Egg Incubation System. European Journal of Theoretical and Applied Sciences, 2(3), 483-493. DOI: 10.59324/ejtas.2024.2(3).37
21. Aba, E. N., Olugboji, O. A., Nasir, A., Olutoye, M. A., & Adedipe, O. (2021). Petroleum pipeline monitoring using an internet of things (IoT) platform. SN Applied Sciences, 3, 1-12. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04225-z
22. Adetola S.O, Adegbite A.S, Adewale K.A and Ibiwoye O.S (2019). Design, construction and testing of a kerosene powered multi bird-egg incubator. LAUTECH Journal of Civil and Environmental Studies. https://doi.org/10.36108/laujoces%2F9102%2F20%280210%29
23. Adiono, T., Fathany, M. Y., Fuada, S., Purwanda, I. G., & Anindya, S. F. (2018, April). A portable node of humidity and temperature sensor for indoor environment monitoring. In 2018 3rd International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG) (pp. 1-5). IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/IGBSG.2018.8393575
24. Adame, M.M., & Ameha, N. (2023). Review on Egg Handling and Management of Incubation and Hatchery Environment. Asian Journal of Biological Sciences, 16(4), 474-484. https://doi.org/10.3923/ajbs.2023.474.484
25. Mohammed Ali Al -Zaidi, Ali. (2022). OPTIMUM DESIGN CALCULATION OF EGGS INCUBATOR.
26. Engr. Bala, A. M.; Abubakar, M. A.; Bello, M. S.; & Salako., I. Design and Construction of a Fully Automated Egg Incubator Using Electric/Battery. African Scholar Journal of African Sustainable Development. VOL. 18 NO. 2 ISSN: 2010-1086 SEPTEMBER, 2020.

Вклад авторов:
Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликтов.

Информация об авторах

Неверов Евгений Николаевич, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», neverov42@mail.ru*

Ширманова Гузяль Самигуллаевна, *ст. препод. кафедры экономических наук и информационных технологий, Беловский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», аспирант ИИТ КемГУ, minigulova_gs@mail.ru*

Горелкина Алена Константиновна, *д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», alengora@yandex.ru*

Владимиров Александр Александрович, *проектный менеджер ДНК им.П.А. Чихачева КемГУ, fizickemsu@mail.ru*

Author Information

Neverov Evgeny N.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, neverov 42@mail.ru*

Shirmanova Guzyal S., *Senior Lecturer of the Department of Economic Sciences and Information Technology, Belovo Institute (branch) of Kemerovo State University, postgraduate student of IIT KemSU, minigulova_gs@mail.ru*

Gorelkina Alena K., *Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Technosphere Safety, Kemerovo State University, alengora@yandex.ru*

Vladimirov Alexander A., *Project Manager of DNA named after P.A. Chikhachev KemSU, fizickemsu@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 24.09.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.
The article was submitted 24.09.2024; approved after reviewing 06.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с.131-135
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.131-135

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.034/612.11:612.12
DOI: 10.36508/RSATU.2024.33.14.019

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДВУХРЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ксения Олеговна Оковитая[1] ✉, Виктор Григорьевич Макаренко[2], Олег Арсеньевич Суржко[3]

[1,2,3] ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

[1] mellootello@gmail.com
[2] v.g.mak@mail.ru
[3] mr.surzhkooa@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *В статье изучена проблема автоматизации непрерывной работы двухреакторной биогазовой установки в соответствии с требованиями наилучших доступных технологий.*
Методология. *Разработан алгоритм автоматизации работы двухреакторной биогазовой установки непрерывного действия и модернизация системы управления.*
Результаты. *Проведены исследования автоматизации технологического процесса анаэробного сбраживания биомассы с получением биогаза. Разработана функциональная схема автоматического технического комплекса управления работой двухреакторной биогазовой установки.*
Заключение. *Применение разработанной схемы автоматизации позволит оперативно, без участия оператора, регулировать параметры процессов гидролиза и метаногенеза, проходящих при разных температурах, таких как уровень субстрата ±0,3 м, pH ±0,1, температура ± 1° С .Автоматизация перекачивания субстрата через теплообменник и работы мешалок позволит более полно реализовать метановый потенциал субстратов за 25 суток.*

Ключевые слова: *автоматизация, технологический процесс, биогазовая установка, органические отходы, получение биогаза*

Для цитирования. *Оковитая К.О., Макаренко В.Г., Суржко О.А. Автоматизация работы двухреакторной установки для получения биогаза из отходов агропромышленного комплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С. 131-135 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.33.14.019*

Original article

DESCRIPTION OF THE SCHEME FOR OBTAINING BIOGAS FROM ORGANIC WASTE

Ksenia O. Okovitaya [1] ✉, Viktor G. Makarenko [2], Oleg A. Surzhko [3]

[1,2,3] Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

[1] mellootello@gmail.com
[2] v.g.mak@mail.ru
[3] mr.surzhkooa@mail.ru

Annotation. *The article examines the problem of automating the continuous operation of a two-reactor biogas plant in accordance with the requirements of the best available technologies.*
Problem and purpose. *An algorithm for automating the operation of a two-reactor biogas plant of continuous operation and upgrading the control system has been developed.*
Methodology. *Studies have been conducted on the automation of the technological process of anaerobic digestion of biomass to produce biogas. A functional diagram of an automatic technical control complex for the operation of a two-reactor biogas plant has been developed.*
Results. *Studies have been conducted on the automation of the technological process of anaerobic digestion of biomass to produce biogas. A functional diagram of an automatic technical control complex for the operation of a two-reactor biogas plant has been developed.*

© Оковитая К.О., Макаренко В.Г., Суржко О.А., 2024 г.

Conclusion. *The developed system for automatic control of the operation parameters of a two-reactor biogas plant for the production of biogas from organic waste. The automatic control system makes it possible to maximize the biogas potential of organic waste.*

Key words: *automation, technological process, biogas plant, organic waste, biogas production*

For citation: *Okovitaya K.O., Makarenko V.G., Surzhko O.A. Description of the scheme for obtaining biogas from organic waste // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4. P. 131-135 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.33.14.019*

Введение

Эксплуатация биогазовых установок, субстратом в которых являются растительные отходы сельскохозяйственных растений, показала, что неполностью используется метановый потенциал биогазовых отходов. В последнее время актуальными являются научные исследования, направленные на изучение двухреакторных биогазовых установок. В этом случае процессы гидролиза и метаногенеза субстрата разделены.

Известно, что разделение процессов на две последовательные фазы приводит к существенно более высоким выходам энергии (более чем на 40 %) для двухфазной системы (H_2 + CH_4) по сравнению с традиционным одностадийным процессом получения CH_4. Также в последнее время появились схемы с разделением на три отдельные фазы (гидролитический, ацидогенный и метаногенный). В то же время при двухфазной анаэробной биодеградации с непрерывным перемешиванием органические вещества отходов в 9-16 раз ниже входящих, то есть степень биодеградации (89-93 %) [1-4].

Материалы и методы исследования

В наших лабораторных экспериментальных исследованиях по анаэробному расщеплению смесей молочной сыворотки и отходов активного ила с очистных сооружений в двухстадийном процессе (с получением только биометана) была получена степень деградации 95 %. В случае двухфазной анаэробной биодеградации полученные отходы также могут быть использованы в качестве натурального удобрения в сельском хозяйстве. Выбранный в качестве сырья кукурузный экстракт использовался (отдельно или в смесях) для получения биоводорода или биометана [6]. Кукурузный экстракт является дешевой альтернативой дрожжевому экстракту для многочисленных биотехнологических промышленных процессов. В то же время из-за быстрого роста производства кукурузного крахмала были произведены значительные объемы органического побочного продукта. Многие производители крахмала сбрасывают воду, использованную для замачивания кукурузы, непосредственно в окружающую среду, что оказывает негативное воздействие на нее [7]. Согласно нашим данным, вода не используется в двухфазной анаэробной биодеградации для одновременного производства водорода и метана.

Хотя субстраты с высокой концентрацией сахара, которые легко гидролизуются, обладают высоким потенциалом деградации и производства биогаза, их использование в одностадийных процессах сбраживания может создавать проблемы, связанные с нестабильностью процесса и подкислением реактора. Разработка двухстадийного процесса сбраживания (разделение кислотной и метаногенной фаз) описана в литературе как интересная альтернатива для повышения стабильности и общей производительности.

Помимо повышенной стабильности процесса и более высоких скоростей разложения, двухступенчатые процессы анаэробного расщепления обеспечивают комбинированное производство H_2 (реактор кислотогенной фазы) и CH_4 (реактор метаногенной фазы). Такой метод позволяет получать более высокий выход энергии (увеличение на 11 %) и повышение рекуперации энергии из биомассы до 43 % в двухступенчатых реакторах. Газы, полученные на разных стадиях процесса, можно объединить для получения усовершенствованного топлива, называемого биометаном. Исследования, связанные с производством этого высокоэнергетического смешанного газа, в последние годы вызывают интерес и еще больше активизировали исследования, связанные с многоступенчатым.

Нашими исследованиями двухреакторной биогазовой установки показано, что процесс гидролиза наиболее эффективно происходит при температуре 50° С, а процесс метаногенеза при 30° С. Для утилизации избыточного для второго биореактора тепла, поступающего с субстратом после процесса гидролиза, нами рассчитан и спроектирован теплообменный аппарат, который позволяет повысить энергоэффективность всей биогазовой установки в целом. Однако в этом случае возрастает важность точного регулирования важнейших параметров процессов гидролиза и метаногенеза, основными из которых являются температура и pH. Вручную регулировать эти параметры при непрерывной работе установки затруднительно [8].

В связи с этим актуальным является разработка автоматизированной системы управления работы технологическим процессом (АСУ ТП) первого и второго биореакторов с использованием теплообменного аппарата. Литературный обзор по данной теме не позволил найти эффективной архитектуры АСУ ТП, особенно при наличии теплообменника [9,10].

Целью работы является автоматизация процессов управления двухреакторной биогазовой установкой с теплообменным аппаратом для получения биогаза из отходов агропромышленного комплекса.

Результаты исследований и их обсуждение

Представлена схема двухступенчатой установки получения биогаза из органических отходов (рис.), состоящей из биореактора гидролиза 1 , разделенного на две секции 1.1, 1.2 и реактора метаногенеза 2, разделенного на четыре секции 2.1, 2.2, 2.3, 2.4. Подача субстрата в биореак-

тор гидролиза 1, осуществляется насосом Н1 из приемного резервуара через теплообменник 3. Подача субстрата в биореактор гидролиза 2 осуществляется насосом H_2 из биореактора 1 через теплообменник 3. Перемешивание во всех секциях биореакторов раздельное с помощью мешалок М1-М6. Объем каждой секции биореакторов составляет 5 м³.

Рабочая температура в первом реакторе 50º С, а во втором 30º С. Подогрев исходного субстрата, поступающего в межтрубное пространство теплообменника 3, и охлаждение субстрата, направляемого в биореактор 2 (насос Н2), осуществляется встречным потоком через теплообменник 3.

Нагрев и поддержание температуры в реакторе (1) осуществляется термостатом, а нагрев субстрата в биореакторе 2 – за счет экзотермических реакций при метаногенезе.

Распределение субстрата по секциям биореакторов производится с помощью задвижек с электроприводом (К5, К6, К7, К8). Перекачка субстрата из первого реактора в теплообменник 3 производится насосом Н2 через управляемые клапаны К3, К4. Выпуск отработанного субстрата из биореактора 2 производится путем открытия задвижек К9-К12, с управляемой задвижкой К13.

Над четырьмя секциями второго биореактора расположен общий купол для сбора биогаза, который через клапан 4г-1 при давлении 3 бар стравливает его в газгольдер.

В связи с этим было разработано описание работы установки в стационарном режиме, которое состоит из двух этапов.

Запуск установки. Из приемного резервуара субстрат с температурой 10-20º С насосом Н1 подается через теплообменник 3 (еще без теплоносителя) в секцию 1.1, биореактора 1, где нагревается до рабочей температуры 5º С и выдерживается 5 суток.

В секцию 1.1 подаются также ферменты. В это время секции 1.2, 2.1-2.4 остаются незаполненными.

Работа установки в стационарном режиме. На шестые сутки производится перекачка гидролизованного субстрата из секции 1.1 через теплообменник в секцию 2.1 второго реактора, задвижка К5 открыта, К6, К7, К8 закрыты. Одновременно через теплообменник 3 происходит заполнение секции биореактора 1.2 исходным субстратом, задвижка К1 открыта, а К2 – закрыта. При этом температура поступающего в 1.2 субстрата поддерживается в пределах 15-25º С, теплоносителем является субстрат с температурой 50º С из секции биореактора 1.1. После этого секция 1.1 остается пустой и ждет следующего заполнения через 5 суток.

Через 5 суток заполняется секция биореактора 1.1 и перекачивается субстрат из секции 1.2 в 2.2. Соответственно К4, К6 – открыты, а К3 – закрыта.

Таким образом, попеременно заполняя секции биореактора 1.1 и 1.2, перекачивая субстрат во второй биореактор, заполняем последовательно секции 2.3, 2.4.

Через 20 суток секция биореактора 2.1 опорожняется через управляемую задвижку К13. Общее время брожения субстрата в двух биореакторах составляет 25 суток.

Автоматизация установки заключается в следующем:

1.Во всех секциях биореактора 1 установлены датчики предельного уровня max и min (поз. 1). Управление клапанами К1 и К2, а также двигателями мешалок М1 и М2, осуществляется программируемым логическим контроллером (ПЛК).

Расчетные размеры биореакторов:

Биореактор 1: высота – 3м, диаметр – 2,3 м. Датчик уровня в первом биореакторе срабатывает на отметке 2,5 ± 0,3 м.

Биореактор 2: высота – 3м, диаметр – 3,3м. Датчик уровня срабатывает на отметке 2,4± 0,3 м.

2. В процессе синтеза биогаза осуществляется контроль и стабилизация температуры. Поддержание температуры осуществляется с погрешностью ±1º С. Поддержание температуры в биореакторе 1 осуществляется горячей водой с помощью термостата, управляемого автоматической системой регулирования (АСР) температуры (поз. 1а, 1в). Контролируется также температура на входе в биореактор 1 (поз. 2а, 2б) и входе в биореактор 2 (поз. 3а, 3б).

3. В биореакторе 1, в секциях 1.1, 1.2 установлен датчик контроля давления (поз. 5а) с погрешностью ± 0,2 бар.

В биореакторе 2 устанавливается общий для всех секций АСР давления (поз. 4а-4г) на 1 бар (погрешность ± 0,1 бар). При превышении 1 бар срабатывает клапан 4г1 (2).

Во всех секциях биореакторов 1 и 2 устанавливаются датчики контроля pH. Точность измерения ± 0,1pH.

Контроль и управление процессом получения биогаза из органических отходов осуществляется программируемым логическим контроллером (ПЛК).

– Во всех секциях установлены датчики предельного уровня max и min (поз. 1). Датчики на подаче в секции (9, 10, 14,15,16,17) и может быть насосами (5,4).

– Датчики температуры должны быть в каждой секции биореакторов. Датчики в секциях 1.1 и 1.2 связаны с термостатом. Датчики в секциях 2.1-2.4 – для контроля температуры, погрешность ±1º С.

– В биореакторе 1 в секциях 1.1, 1.2 установлен датчик контроля давления с погрешностью ± 0,2 бар.

– В биореакторе 2 устанавливается общий для всех секций датчик давления на 1 бар ± 0,1 бар. При превышении 1 бар срабатывает клапан 23.

– Во всех секциях биореакторов 1 и 2 устанавливаются датчики контроля pH. Точность измерения ± 0,1 pH.

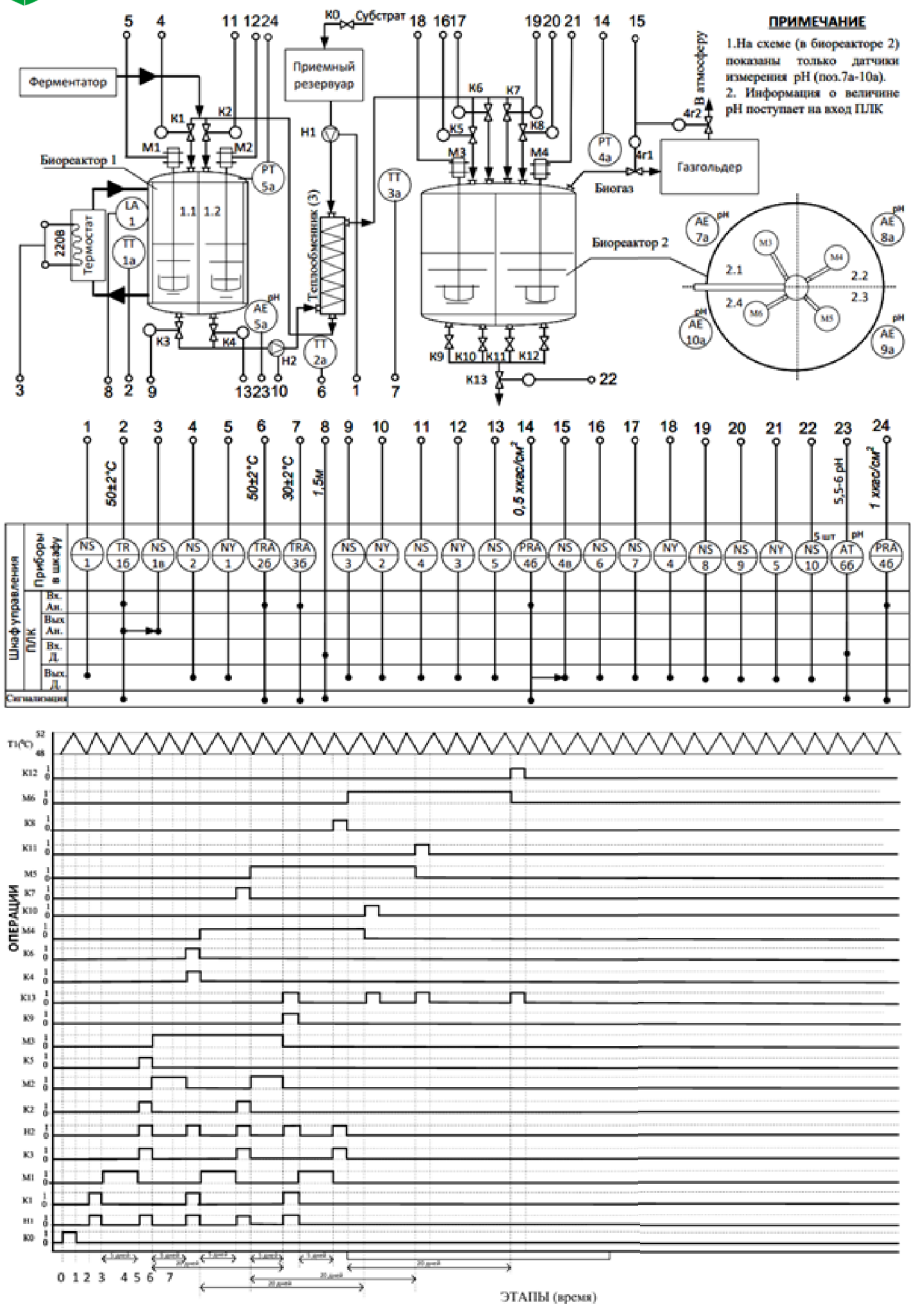


Рис. 1– Схема автоматизации двухреакторная биогазовой установки с ферментацией субстрата 1,2 – насосы; 7-22 – задвижки с электроприводом; 23 – клапан давления; 24 – контур нагрева

Fig. 1 – Automation scheme of a two-reactor biogas plant with substrate fermentation 1,2 – bioreactors 1 (sections 1.1, 1.2) and 2 (sections 2.1, 2.2, 2.3, 2.4) stages; 3-heat exchanger; 4-6 – pumps; 7-22 – electric valves; 23 – pressure valve; 24 – heating circuit.

Заключение

Автоматизированная система управления, регулируя уровни субстрата (±0,3 м), pH (±0,1) и температуру (±1° С) в процессах гидролиза и метаногенеза, обеспечивает их оптимальное протекание при различных температурных режимах. Автоматическое перекачивание субстрата через теплообменник, который также утилизирует избыточное тепло первого биореактора, и управление мешалками сокращают время полного извлечения метанового потенциала субстратов до 25 суток. Это позволяет снизить трудозатраты, освобождая операторов от рутинных задач, и позволяет им сосредоточиться на более важных аспектах эксплуатации биогазовой установки.

Автоматизация может использоваться для сбора данных о работе биогазовой установки и контроля основных параметров, что позволяет анализировать ее эффективность и внедрять дальнейшие оптимизации. Также внедрение автоматики может увеличить инвестиционную привлекательность биогазовой установки за счет повышения ее эффективности и снижения операционных затрат.

Таким образом, автоматизация является неотъемлемой частью современных биогазовых установок и играет ключевую роль в достижении их полного потенциала.

Список источников

1. Simeonov, I.; Chorukova, E.; Diop, S.; Christov, N. Pilot scale biogas reactor with computer system for monitoring and control. In Proceedings of the Septième édition du Colloque Francophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique—COFRET'14, Paris, France, 23–25 April 2014; pp. 711–723.

2. Simeonov, I.; Chorukova, E.; Akivanov, V.; Lakov, V.; Mihailova, S. Experimental pilot scale biogas plant with computer system for monitoring and control. In Proceedings of the International Conference Automatics and Informatics, Sofia, Bulgaria, 4–6 October 2017; pp. 239–242.

3.Cremonez, P.A.; Teleken, J.G.; Meier, T.R.W.; Alves,

H.J. Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. J. Environ. Manag. 2021, 281, 111854. [CrossRef]

4.Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие.-М. Инфра-Инженерия, 2008.-928 с.

5.Волковой М.С. Автоматик и автоматизация производственных процессов: учеб. пособие/ М.С. Волковой.-Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. Ун-та, 2012.- 145 с.

6.Смирнов Н.Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов): учебное пособие для вузов/ Н.Н. Смирнов, В.М. Барабаш, К.А. Карпов; под общей редакцией Н.Н. Смирнова. -5-е изд., стер.-Санкт-Петербург: Лань, 2024.-84.

7.Фёдоров Ю.Н. Порядок создания, модернизции и сопровождения АСУТП.-М. Инфра-Инженерия, 2011.-576 с.

8.Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review Paulo André Cremonez, Joel Gustavo Teleken, Thompson Ricardo Weiser Meier, Helton José Alves, Federal University of Paraná (UFPR-Campus Palotina), 2153 Pioneiro St., Bairro Jardim Dallas, Palotina, PR, 85.950-000, Brazil, 2020.

9.Оковитая К.О., Нуждин А.В., Суржко О.А. Расчет теплообменного аппарата для субстрата биогазовой установки // Вестник РГАТУ, 2024, Т.16., №2, с. 156-163.

10.Ковалев А.А., Ковалев Д.А. Интелектуализированная система подачи субстрата в биореактор для анаэробной обработки//Техника и технологии в животноводстве. 2019. №1 (33).

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

References

1.Fyodorov YU.N. Spravochnik inzhenera po ASUTP: Proektirovanie i razrabotka. Uchebno-prakticheskoe posobie.-M. Infra-Inzheneriya, 2008.-928 s.

2.Volkovoj M.S. Avtomatik i avtomatizaciya proizvodstvennyh processov: ucheb. posobie/ M.S. Volkovoj.-Perm': Izd-vo Perm. nac. issled. politekhn. Un-ta, 2012.- 145 s.

3.Smirnov N.N. Al'bom tipovoj himicheskoj apparatury (principial'nye skhemy apparatov): uchebnoe posobie dlya vuzov/ N.N. Smirnov, V.M. Barabash, K.A. Karpov; pod obshchej redakciej N.N. Smirnova. -5-e izd., ster.-Sankt-Peterburg: Lan', 2024.-84.

4.Fyodorov YU.N. Poryadok sozdaniya, modernizcii i soprovozhdeniya ASUTP.-M. Infra-Inzheneriya, 2011.-576 s.

5.Volkovoj M.S. Avtomatik i avtomatizaciya proizvodstvennyh processov: ucheb. posobie/ M.S. Volkovoj.-Perm': Izd-vo Perm. nac. issled. politekhn. Un-ta, 2012.- 145 s.

6.Smirnov N.N. Al'bom tipovoj himicheskoj apparatury (principial'nye skhemy apparatov): uchebnoe posobie dlya vuzov/ N.N. Smirnov, V.M. Barabash, K.A. Karpov; pod obshchej redakciej N.N. Smirnova. -5-e izd., ster.-Sankt-Peterburg: Lan', 2024.-84.

7.Fyodorov YU.N. Poryadok sozdaniya, modernizcii i soprovozhdeniya ASUTP.-M. Infra-Inzheneriya, 2011.-576 s.

8.Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review Paulo André Cremonez, Joel Gustavo Teleken, Thompson Ricardo Weiser Meier, Helton José Alves, Federal University of Paraná (UFPR-Campus Palotina), 2153 Pioneiro St., Bairro Jardim Dallas, Palotina, PR, 85.950-000, Brazil, 2020.

9.Okovitaya K.O., Nuzhdin A.V., Surzhko O.A. Raschet teploobmennogo apparata dlya substrata biogazovoj ustanovki // Vestnik RGATU, 2024, T.16., №2, s. 156-163.

10.Kovalev A.A., Kovalev D.A. Intelektualizirovannaya sistema podachi substrata v bioreaktor dlya anaerobnoj obrabotki//Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2019. №1 (33).

Contribution of the authors:
All authors have made equivalent contributions to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Оковитая Ксения Олеговна, *аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, mellootello@gmail.com.*

Макаренко Виктор Григорьевич, *доцент кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, v.g.mak@mail.ru.*

Суржко Олег Арсеньевич, *д-р техн. наук профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, mr.surzhkooa@mail.ru*

Author Information

Okovitaya Ksenia O., *Postgraduate, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), mellootello@gmail.com*

Makarenko Viktor G., *Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), v.g.mak@mail.ru*

Surzhko Oleg A., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), mr.surzhkooa@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 28.11.2024; accepted for publication 12.12.2024

Вестник РГАТУ, 2024, т.16., № 4, с. 136-145
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, № 4, pp 136-145

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 544.651.23;
628.166.094.3;
661.418.3
DOI: 10.36508/RSATU.2024.62.54.020

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ИЗ ПРИРОДНЫХ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩИХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ)

Адик Викторович Онкаев[1]✉, Иван Алексеевич Успенский[2], Иван Александрович Юхин[3], Николай Владимирович Лимаренко[4], Игорь Викторович Пчельников[5]

[1,5] ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия
[2,3,4] ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева»,г. Рязань, Россия
[4] ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

[1] onkaev.adik08@yandex.ru
[2] ivan.uspensckij@yandex.ru
[3] yuival@rambler.ru

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза».

Аннотация.
Проблема и цель. *Особое внимание проблемам охраны окружающей среды уделяется на объектах сельскохозяйственного назначения, в том числе, расположенным в удалении и труднодоступных территориях. В них в качестве дезинфицирующих средств для обеззараживания воды, профилактики и лечения заболеваний животных, борьбы против спор, бактерий и других вредителей зерновых и овощных культур используются хлорсодержащие препараты, среди которых преимущество отводится низкоконцентрированным растворам гипохлорита натрия (ГХН), получаемым путем электролиза хлоридсодержащих водных растворов. В качестве таких растворов можно использовать природные поверхностные и подземные воды, в том числе на территории Калмыкии. Негативной особенностью электролиза хлоридных растворов является сопутствующее ему образование на поверхности катода и внутри электролизера нерастворимых солей сульфата и карбоната кальция совместно с гидроксидом магния, что ведет к перегреву электролизера и деформации электродных пластин.*
Методолгия. *Исследовано влияние концентрации активного хлора в результате электрохимического процесса в природных растворах различного химического состава: в двух поверхностных источниках – реке Элиста и озере Улан-Хол и подземном – в поселке Юста, как наиболее полно отражающих характерную картину качества природных вод, присутствующих на территории Калмыкии.*
Результаты. *В результатах была показана необходимость проведения исследований с постоянным и переменным током для оценки влияния внешних и внутренних факторов на выход товарного продукта – ГХН. При этом, ведя электролиз переменным током, наблюдаем снижение осадков в трех природных хлоридсодержащих растворах на примере Республики Калмыкия.*
Заключение. *Установлено, что полученные при исследованиях результаты электролиза природных водных хлоридсодержащих растворов Республики Калмыкия указывают на принципиальную возможность использования их в качестве сырья для получения гипохлорита натрия электролизом постоянным током. Но при этом присутствует крайне негативное явление – образование нерастворимых соединений кальция и магния на катоде и в объеме электролизного аппарата, что может стать причиной аварийной ситуации.*

Ключевые слова: *гипохлорит натрия, обеззараживание, прямой электролиз природной воды, постоянный и переменный ток, катодные отложения, хлоридсодержащие природные растворы*

Для цитирования: *Онкаев А.В., Успенский И.А., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Пчельников И.В. Особенности получения гипохлорита натрия электролизом из природных хлоридсодержащих вод (на примере Республики Калмыкия) // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, № 4, С.136-145 https://doi.org/.10.36508/RSATU.2024.62.54.020*

© Онкаев А.В., Успенский И.А., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Пчельников И.В., 2024 г.

Original article

FEATURES OF OBTAINING SODIUM HYPOCHLORITE BY ELECTROLYSIS FROM NATURAL CHLORIDE-CONTAINING WATERS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF KALMYKIA)

Adik V. Onkaev [1] ✉, Ivan A. Uspensky [2], Ivan A. Ukhin[3], Nikolai V. Limarenko [4], Igor V. Pchelnikov[5]

[1,5] Southern State Pedagogical University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia
[2,3,4] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[4] Don State Technical Universit, Rostov-On-Don, Russia

[1] onkaev.adik08@yandex.ru
[2] ivan.uspensckij@yandex.ru
[3] yuival@rambler.ru

The study was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on the topic: "Development of a digital platform for increasing energy efficiency in the disinfection of bedding-free manure."

Annotation.
Problem and purpose. *Special attention is paid to environmental protection issues at agricultural facilities, including remote and hard-to-reach areas, where chlorine-containing preparations are used as disinfectants for water disinfection, prevention and treatment of animal diseases, control against spores, bacteria and other pests of grain and vegetable crops, among which low-concentration solutions are given the advantage sodium hypochlorite (HCN), obtained by electrolysis of chloride-containing aqueous solutions, as which it is possible to use natural surface and groundwater, including on the territory of Kalmykia. A negative feature of the electrolysis of chloride solutions is the concomitant formation of insoluble salts of calcium sulfate and carbonate together with magnesium hydroxide on the surface of the cathode and inside the electrolyzer, which leads to overheating of the electrolyzer and deformation of the electrode plates.*
Methodology. *The influence of the concentration of active chlorine as a result of the electrochemical process of natural solutions of various chemical compositions has been studied: two surface sources - the Elista River and Lake Ulan-Khol and an underground one - in the village of Yusta, as most fully reflecting the characteristic picture of the quality of natural waters present in the territory of Kalmykia.*
Results. *The results showed the need to conduct direct and alternating current studies to assess the influence of external and internal factors on the yield of a marketable product – HCN. At the same time, conducting electrolysis with alternating current, there is a decrease in precipitation of three natural chloride-containing solutions on the example of the Republic of Kalmykia.*
Conclusion. *It was found that the results of the electrolysis of natural aqueous chloride–containing solutions of the Republic of Kalmykia obtained during research indicate not only the fundamental possibility of using them as raw materials for the production of sodium hypochlorite by direct current electrolysis, but also the presence of an extremely negative phenomenon - the formation of insoluble calcium and magnesium compounds at the cathode and in the volume of the electrolysis apparatus, which can become the cause of the emergency.*

Key words: *sodium hypochlorite, disinfection, direct electrolysis of natural water, direct and alternating current, cathode deposits, chloride-containing natural solutions*

For citation: *Onkaev A.V., Uspensky I.A., Limarenko N.V., Yukhin I.A., Pchelnikov I.V. Features of obtaining sodium hypochlorite by electrolysis from natural chloride-containing waters (on the example of the Republic of Kalmykia) // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024,T.16, № 4. P.136-143 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.62.54.020*

Введение

Проблемы охраны окружающей среды, в том числе на объектах сельскохозяйственного назначения, повышения продуктивности животноводства, птицеводства [1-4], урожайности зерновых культур [5,6], лечения животных [7] и обеспечения населения доброкачественной питьевой водой [8-10] неразрывно связаны с использованием дезинфицирующих веществ. Особое внимание этому уделяется расположенным в удалении и труднодоступным территориям, где, в основном, отсутствуют всепогодные дороги, высококвалифицированный персонал при недостаточном финансировании на поддержание инженерных сетей и технологического оборудования. Характерным этому примером может служить аридная зона Республики Калмыкия, расположенная на полупустынной равнине [11].

В качестве дезинфицирующих средств для обеззараживания воды, профилактики и лечения заболеваний сельскохозяйственных животных, борьбы против микотоксинов, спор и бактерий – вредителей сельскохозяйственных и овощных культур – широко используются хлорсодержащие препараты, среди которых признанное преимущество отводится водным растворам на основе низ-

коконцетрированного гипохлорита натрия (НГХН) [12] – эффективного окислителя, синтезируемого электрохимическим методом в бездиафрагменном электролизере для активной борьбы с бактериями, вирусами, спорами и грибами. При этом, имея невысокое содержание целевого продукта в получаемом гипохлорите (5-7 г/л по активному хлору), в сравнении с высококонцентрированным (160-180 г/л), и, тем более, 100 %-м жидким или газообразным хлором, его можно считать безопасным для окружающей среды и здоровья человека, животных. Можно утверждать, что применение НГХН в сельском хозяйстве является инновационной технологией и требуют дальнейшего развития.

Для реализации производства НГХН необходимо наличие трех условий: присутствие хлоридов в исходной воде, её электропроводность и электроэнергия. Было установлено, что уже при концентрации хлоридов в воде 20 мг/дм³ можно получить НГХН на аноде ОРТА (оксидно-рутениево-титановый анод) [13].

При прохождении постоянного тока через раствор, содержащий хлорид-ионы (Cl^-), в бездиафрагменном электролизере протекают следующие реакции:

На аноде (положительном электроде) реализуются реакции окисления:

хлорид-ионов $2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2$ (1)

и воды $2H_2O - 4e^- \rightarrow O_2 + 4H^+$ (2)

На катоде (отрицательном электроде) протекает разряд молекулы воды:

$$H_2O + e^- \rightarrow OH^- + \frac{1}{2}H_2 \ . \quad (3)$$

Выделяющийся на аноде хлор (Cl_2) в объеме электролита взаимодействует с водой

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HClO$$

с образованием двух кислот: соляной (HCl) и хлорноватистой ($HClO$). Но ввиду присутствия гидроксил-ионов, образовавшихся на катоде и перешедших в растворы, обе кислоты нейтрализуются согласно реакциям:

$$HCl + OH^- \rightarrow H_2O + Cl^- ; \quad (4)$$

$$HClO + OH^- \rightarrow H_2O + ClO^- . \quad (5)$$

Так как эти реакции протекают практически мгновенно, то в итоге в растворе будет образовываться новое соединение (окислитель) – гипохлоритион (ClO^-), а гидроксил-ионы (OH^-), концентрация которых всегда больше содержания двух кислот, повышает pH раствора до 8,5 ед. Поскольку в таких растворах всегда присутствуют ионы натрия (Na^+), то образующееся вещество называется гипохлоритом натрия

Особенностью электролиза природных хлоридных растворов является сопутствующее образование на поверхности катодов электролизера, а также в объеме жидкости, внутри аппарата и выходящей из него, нерастворимых соединений сульфата и карбоната кальция совместно с гидроксидом магния, что приводит к нештатному режиму электролиза, перегреву и деформации электродной системы, разрушению оксидного покрытия анодов и снижению производительности установки по вырабатываемому активному хлору.

Известно, что скорость образования осадков и их структура зависят от плотности тока, времени и формы поляризации и химического состава воды. Наибольшее влияние оказывает наличие в растворе ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-} и растворенного CO_2 в тех или иных концентрациях. В щелочном (по реакции среды) прикатодном пространстве (формула 2) свободная углекислота CO_2 и ионы гидрокарбоната HCO_3^- - взаимодействуют с катионами кальция Ca^{2+} и ионами гидроксила OH^- с последующим образованием $CaCO_3$ по реакциям:

$$NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3; \quad (6)$$

$$NaOH + NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O; \quad (7)$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3 \downarrow; \quad (8)$$

$$Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^- \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O; \quad (9)$$

$$Ca^{2+} + CO_2 + 2OH^- \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O. \quad (10)$$

Выделившиеся при электролизе ионы OH^- - не только смещают карбонатное равновесие в область CO_3^{2-}, но и участвуют в образовании $Mg(OH)_2$:

$$MgCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + 2NaCl. \quad (11)$$

Кроме того, повышенная концентрация положительных ионов кальция (Ca^{2+}) у отрицательной поверхности катода стимулирует образование еще одной нерастворимой соли – ангидрита кальция ($CaSO_4$). Этому способствует, как правило, значительное превышение сульфат-ионов в природных растворах над ионами Ca^{2+}, Mg^{2+}.

В работе [14] показано, что значительное снижение образования осадков на катоде возможно при исследовании переменного тока на примере воды морей и океанов. Для этого требуется провести специальные исследования для оценки влияния внешних и внутренних факторов на выход активного хлора (НГХН) путем электролиза природных растворов и оценить роль формы тока в образовании осадка.

Все вышеперечисленное является предметом настоящего исследования, цель которого заключается в поиске простого экономичного способа получения дезинфектанта на основе НГХН на месте его потребления за счет использования природных минерализованных хлоридсодержащих вод, обладающего антимикробными свойствами и при этом имеющего низкую токсичность, а также в расширении арсенала известных биоцидов для нужд фермерских хозяйств (на примере Республики Калмыкия).

Рассмотренные выше процессы, протекающие в бездиафрагменном электролизере в хлоридных растворах (искусственных или природных), а также присутствующее на рынке технологическое оборудование (электролизные установки), указывают на целесообразность использования прямого электролиза хлоридсодержащих природных вод с целью производства НГХН для нужд Калмыкии.

Материалы, приборы и методы

Для определения концентрации активного хлора в результате электрохимического процесса ис-

следовали природные растворы различного химического состава: двух поверхностных источников – реки Элисты и озера Улан-Хол и подземного – в поселке Юста, как наиболее полно отражающих характерную картину качества природных вод, присутствующих на территории Калмыкии, химический состав которых по основным анионам и катионам представлен в таблице 1 [15].

Таблица 1 – Химический состав природных вод Калмыкии для получения НГХН, мг/дм³

Место отбора	Жесткость, мг-экв/дм³	pH	Минерализация,	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+ + K^+
р. Элиста	36,6	8,3	5760,0	402,0	1329,8	2021,3	324,6	248,1	1153,7
п. Юста	98,0	6,8	10050,0	152,5	5033,9	1920,0	1060,0	549,0	1989,5
оз. Улан-Хол	125,0	6,2	304560,0	122,0	265950,0	2062,4	1402,8	688,8	15821,5

Для изучения электролиза природных растворов с целью получения НГХН была изготовлена и собрана лабораторная установка (рис. 1). Она включала в себя: емкость исследуемого раствора 1, ячейку с электродами 2, прибор для определения pH 3, перистальтический насос 4 подачи раствора на электролиз с расходом 1 дм³/ч и стакан 5 для сбора готового гипохлорита натрия. В качестве блока питания использовали электрический аппарат 6, который обеспечивал электролиз постоянным или переменным токами.

Основным элементом установки являлась ячейка с электродами. Она была выполнена из органического стекла толщиной 4 мм с наружными размерами а×в×с = 110×64×24 мм, с подводящим (нижним) и отводящим (верхним) цилиндрическими патрубками с проходным отверстием диаметром 8 мм безнапорного типа. Объем рабочего раствора в ячейке 2 соответствовал 0,120 дм³, в ней располагались два одинаковых по размеру электрода размером 103×45×1 мм, служившие в качестве анода и катода, покрытые смесью оксида рутения и титана (ОРТА) на металлическом титане марки ВТ-1.0.

Согласно работе [16] использованы плотности постоянного тока (А/м²), которым соответствуют концентрации хлоридов в растворе: 10-30 г/дм³ – 1000; 5-10 г/дм³ – 500; 1-5 г/дм³ – 100. Однако для переменного тока автор [17] рекомендует вести электролиз, когда продолжительность прямого и обратного тока составляет 2 часа. Такой режим поляризации ведет к разрушению катода [16], в связи с чем плотность тока для маломинерализованных вод не должна превышать 100 А/м², а для высокоминерализованных – не более 200 А/м² [16]. В связи с этим электролиз растворов р. Элиста и п. Юста вели плотностями тока 100 А/м², а Улан-Хол – 200 А/м². Опыты продолжались в проточном режиме на постоянном токе 10 часов, а на переменном – 12 часов, при этом определяли концентрацию активного хлора (С а.х.), температуру, pH, напряжение на электролизной ячейке. После чего электролизную ячейку отключали и собирали наработанный осадок.

Изучение состава отложений проводили для трех видов осадка: осадок №1 – осадок со стакана, выносимый из электролизера потоком; осадок №2 – осадок со стенок и дна самого электролизера; осадок №3 – осадок с катода. В работе вели замер массы и толщины электрода для оценки количества образующихся нерастворимых солей после электролиза.

Для установления процентного распределения нерастворимых форм солей кальция и магния была принята следующая схема расчета: предположительно в состав осадка входила смесь трех нерастворимых солей $CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Mg(OH)_2$. Исследуемый осадок растворяли в 100 мл 1н соляной кислоты, при этом осадок с катода – погружением электродной кассеты в объем кислоты; осадок со стенок и дна электролизера – заполнением объема электролизера кислотой; осадок, выносимый из электролизера – после его осаждения в емкости (стакане) и слива надосадочной жидкости с последующим добавлением в осадок кислоты. После этого определяли в нем содержание ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} и SO_4^{2-} (мг-экв/дм³). Количество нерастворимых солей рассчитывали исходя из того, что каждый миллиграмм-эквивалент кальция образует 50 мг $CaCO_3$, и 68 мг $CaSO_4$, а каждый мг-экв магния – 29 мг $Mg(OH)_2$. Все опыты проводились с трехкратной повторностью.

Рис. 1 – Общий вид лабораторной экспериментальной установки

Fig. 1 – General view of the laboratory experimental installation

Результаты и обсуждение

В таблице 2 приведены результаты исследований оценки выходных параметров раствора НГХН.

Из данных таблицы следует, что за 10 часов электролиза были получены стабильные результаты концентрации активного хлора на выходе из электролизера при выбранных плотностях тока.

Таблица 2 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов (постоянный ток)

Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, А	Плотность тока, i, А/м²	Измеряемые параметры			
				С а.х., г/дм³	t, ° С	pH	U, В
река Элиста	2	0,6	100	0,31	26	7,26	3,1
	4			0,31	27	7,56	3,1
	6			0,31	26	7,90	3,1
	8			0,31	26	8,43	3,1
	10			0,31	26	8,43	3,1
подземная вода п. Юста	2	3,0	500	0,82	28	7,83	6,3
	4			0,84	25	7,80	6,3
	6			0,84	26	7,90	6,3
	8			0,84	28	7,78	6,3
	10			0,84	28	7,90	6,3
озеро Улан-Хол	2	6,0	1000	4,6	28	8,12	3,3
	4			4,6	28	8,36	3,3
	6			4,6	28	8,40	3,3
	8			4,6	28	8,53	3,3
	10			4,7	27	8,40	3,3

Установлено, что с ростом тока увеличивается концентрация НГХН, но непропорционально из-за разных содержаний хлорид-ионов и минерализации исследуемых вод. Полученные растворы НГХН содержат активный хлор в достаточном количестве для удовлетворения нужд агропромышленного комплекса [18].

Однако процесс сопровождается образованием осадка на поверхности катода, обращенной к аноду. На противоположной стороне накопления незначительны. Обнаружены осадки и на боковой грани (рис. 2а). Было установлено, что часть осадков накапливается в электролитической ячейке, а другая выносится наружу потоком. Пояснение процессов во времени в виде последовательных событий электролиза водных растворов на поверхности катода и в ячейке при постоянном токе представлено на рис. 3.

В опытах также было отмечено, что морфология осадков на катоде исследуемых растворов заметно отличается друг от друга. Для р. Элиста характерно мелкозернистое образование осадка. В растворе п. Юста образуется смешанный осадок из мелких и крупных фрагментов, а в оз. Улан-Хол осадок выглядит аморфным. Эти отличия связаны с составом исследуемых растворов. Как следует из данных таблицы 3, химическая природа исследуемых растворов существенно влияет на качество образуемых нерастворимых соединений смеси $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$. как на катоде, так и в ячейке на выходе из электролизера.

Сравнение химического состава исследуемых растворов (табл.1) и весового содержания осадков в %: $CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Mg(OH)_2$. (табл.3) в различных точках контроля не выявило закономерности. Тем не менее, следует отметить, что в пересыщенном солями растворе оз. Улан-Хол по сравнению со среднеминерализованной Юстой осадков образуется сопоставимое количество. Следовательно, высокоминерализованные растворы также вполне технологичны для производства активного хлора не только из-за высокой концентрации хлорид-ионов, но и необременительного образования осадков.

(а)

б)

Рис. 2 – Морфология осадков поверхности катодов: а – после 10 часов проточного электролиза постоянным и б – 12 часов переменным током раствора

Fig. 2 - Morphology of cathode surface precipitation: a - after 10 hours of continuous electrolysis and b – 12 hours of alternating current solution

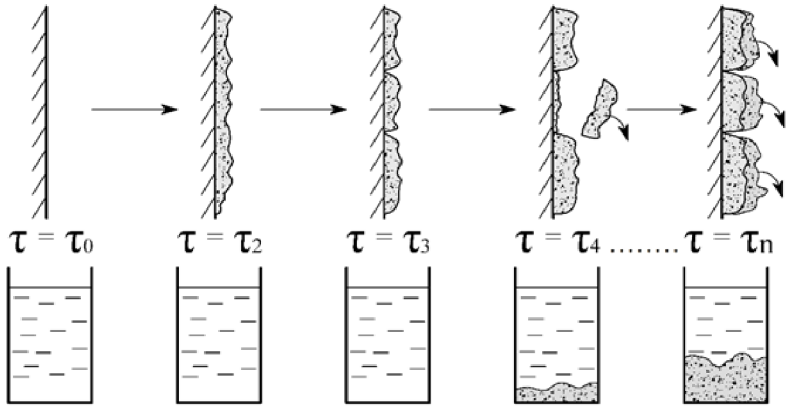


Рис. 3 – Схема, поясняющая в динамике процессы на поверхности катода и накопление осадка в ячейке электролизера при постоянном токе за время τ = 10 часов

Fig. 3 - A diagram explaining the dynamics of the processes on the cathode surface and the accumulation of sediment in the cell of the electrolyzer at constant current for a time of τ = 10 hours

Таблица 3 – Процент распределения нерастворимых форм осадка, образующегося при электролизе водоисточников Республики Калмыкия (постоянный ток)

Место скопления осадка, толщина катода	Состав нерастворимых солей, в %, толщина и масса осадка после электролиза								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$
Электрод (катод)	47,33	52,67	0	63,37	28,14	8,48	27,91	62,52	9,57
Электролизная ячейка	59,27	34,55	6,17	8,37	45,53	46,09	29,54	32,87	37,58
Вынесенный потоком осадок	49,94	40,13	9,92	61,86	31,91	6,21	14,94	75,00	10,00
$M_{осадка}$, г (катод)	0,74			1,19			1,16		
Толщина (катода) край слева, мм	1,82			1,35			1,82		
Толщина (катода) край справа, мм	1,85			1,15			1,82		
Толщина (катода) середина, мм	1,56			1,37			1,33		

В дальнейшем для устранения осадка был использован переменный ток для оценки возможного его применения на практике согласно рекомендациям [16]. Оптимальным условием электролиза был выбран режим переменного тока, когда продолжительность прямой и обратной поляризации составляла 2 часа. Результаты опытов сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов (переменный ток)

Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, А	Плотность тока, i, А/м²	Измеряемые параметры			
				С а.х., г/дм³	t, ° С	pH	U, В
река Элиста	2	0,6	100	0,35	26	8,82	3,1
	4			0,35	28	8,45	3,1
	6			0,35	25	8,40	3,1
	8			0,28	27	8,69	3,1
	10			0,30	27	8,50	3,1
	12			0,28	25	8,40	3,1

Продолжение таблицы 4

подземная вода п. Юста	2	0,6	100	0,34	26	8,40	2,9
	4			0,34	27	8,40	2,9
	6			0,34	30	8,43	2,9
	8			0,34	28	8,30	2,9
	10			0,34	26	8,45	2,9
	12			0,34	26	8,38	2,9
озеро Улан-Хол	2	1,2	200	1,30	26	7,70	2,6
	4			1,31	27	8,28	2,6
	6			1,45	27	7,55	2,6
	8			1,30	27	9,20	2,6
	10			1,30	25	8,80	2,6
	12			1,50	26	9,03	2,6

Из таблицы следует, что в течение 12 часов электролиза были получены стабильные показатели электролиза трех исследуемых растворов: по концентрации активного хлора, температуре, pH и напряжению. Эти значения соответствуют аналогичным показателям при электролизе постоянным током, что доказывает непрерывность процесса электролиза образования активного хлора, хотя концентрация активного хлора при таком электролизе уступает постоянному току.

На рис 2б приведена фотография внешнего вида поверхности катодов после 12 часов электролиза переменным током двух природных растворов: р. Элиста и п. Юста, из которой следует, что образование осадка на их поверхности не происходило. Однако на катоде после электролиза раствора оз. Улан-Хол имело место образование осадка. Зато они явно накапливались во всех ячейках исследуемых растворов, причем больше всего – после электролиза раствора озера Улан-Хол.

Результаты исследований состава трех природных растворов при электролизе переменным током в проточном режиме представлены в табл. 5. Из нее следует, что осадки также образуются, но на поверхности не задерживаются, а выносятся потоком. В растворе оз. Улан-Хол осадок удерживается и накапливается на поверхности.

Таблица 5 – Состав нерастворимых солей, образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде (переменный ток)

Место скопления осадка, толщина катода	Состав нерастворимых солей, в %, толщина и масса осадка после электролиза								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$Mg(OH)_2$
Электрод (катод)	33,97	46,21	19,80	31,48	42,81	25,69	24,77	71,60	3,61
Электролизная ячейка	88,02	11,97	0	13,72	49,98	36,28	64,66	16,48	18,84
Вынесенный потоком осадок	80,87	19,12	0	65,91	29,63	4,44	53,98	22,21	23,80
$M_{осадка}$, г (катод)	0/0			0/0			0,89		
Толщина (катода) край слева, мм	0/0			0/0			1,16		
Толщина (катода) край справа, мм	0/0			0/0			1,17		
Толщина (катода) середина, мм	0/0			0/0			1,13		

Поясним, почему только в растворе оз. Улан-Хол образуется осадок на поверхности электрода при выбранных режимах электролиза.

Известно, что на катоде электролизера при прохождении тока происходит восстановление молекулы воды по реакции (2), а у катодного пространства углекислота в виде CO_2 и карбонат ионы (HCO_3^-) вступают в реакцию с ионами кальция (Ca^{2+})и гидроксила (OH^-), что приводит к образованию нерастворимых солей –$CaCO_3$ согласно

реакциям (3) и (4), одновременно образуется по реакции (5).

Все это реализуется, пока электрод остается катодом. При смене полярности, когда электрод становится анодом, реализуется реакция окисления воды по формуле (1):

$$2H_2O - 4e \rightarrow O_2 + 4H^+,$$

а выделяющаяся кислота (H^+) растворяет часть осадка на границе раздела электрод-осадок согласно рисунку 4. Осадок теряет контакт и покидает поверхность анода. И так повторяются во времени процессы в ячейке и на электродах, которые последовательно являются: катодом → анодом → катодом → анодом… и т.д.

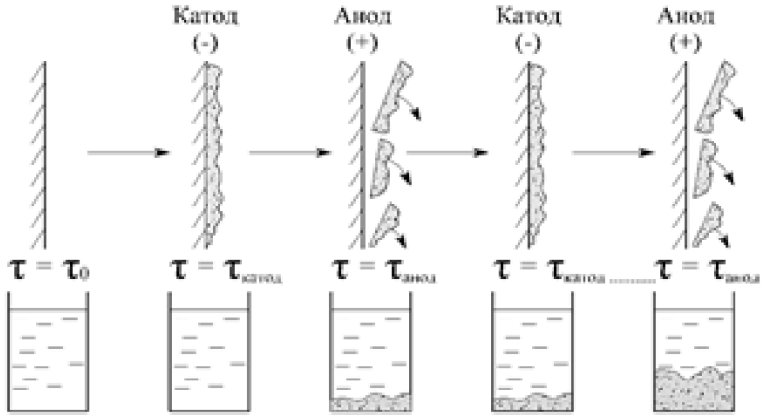


Рис. 4 – Схема, поясняющая динамики процессов на катоде и накопление осадка в электролизере переменным током за τ = 2 часа

Fig. 4 – is a diagram explaining the dynamics of the processes on the cathode surface and the accumulation of sediment in the cell of the electrolyzer at alternating current for a time of τ = 2 hours

Таким образом, в катодный период переменного тока осадок образуется в течение двух часов, а затем разрушается и собирается в ячейке и накопительной емкости. И так может продолжаться так долго, как долго будет протекать электролиз. Отсюда следует, что при переменном токе также образуются осадки, но они не накапливаются на электроде согласно приведенному объяснению.

Накопление же осадка на поверхности катода при электролизе раствора оз. Улан-Хол объясняется тем, что с учетом его высокой минерализации, особенно по сульфат-ионам, образуется пленка, не поддающаяся кислотному растворению в анодный период тока. Это подтверждают данные таблицы 5, согласно которой доля ангидрита кальция наибольшая в осадке электрода. Кроме того, из нее следует, что контакт с поверхностью электрода легче теряет $CaCO_3$, а не $CaSO_4$ благодаря быстрому растворению карбоната кальция в кислой среде у анодной поверхности.

Для устранения осадка в растворе оз. Улан-Хол при электролизе переменным током было принято решение уменьшить время прохождения прямого и обратного тока до 0,5 часа. В результате электролиза указанного раствора в течение 12 часов не наблюдали образования осадка на поверхности электродов. Очевидно, что за 0,5 часа образуется такое незначительное количество осадка на катоде, что в анодный период он теряет контакт с поверхностью электрода и выносится потоком раствора.

Заключение

Полученные при исследованиях результаты электролиза природных водных хлоридсодержащих растворов Республики Калмыкия указывают на принципиальную возможность использования их в качестве сырья для получения гипохлорита натрия электролизом постоянным током. Но при этом присутствует крайне негативное явление – образование нерастворимых соединений кальция и магния на катоде и в объеме электролизного аппарата, что может стать причиной аварийной ситуации. Устранить этот процесс или максимально его подавить возможно путем использования переменного тока с двухчасовой продолжительностью прямой и обратной поляризации и плотности тока 100 (для маломинерализованных) и 200 (высокоминерализованных вод) А/м² для получения необходимой концентрации гипохлорита натрия. Расчетом установлено, что их процентное распределение в общем количестве осадка составляет как $CaCO_3 : CaSO_4 : Mg(OH)_2$ = 50 : 40 : 10 %.

Список источников

1. Regina Boger, Karl Rohn, Nicole Kemper, Jochen Schulz. Sodium Hypochlorite Treatment: The Impact on Bacteria and Endotoxin Concentrations in Drinking Water Pipes of A Pig Nursery. 2020. No10. Pp. 1-12.

2. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2023. – № 1. – С. 107-116.

3. Эффективность использования раствора гипохлорита натрия против возбудителей аскаридиоза и гетеракидоза птиц / С. Ю. Байрамов, З. Б. Комарова, А. А. Мосолов, Ю. Н. Нелепов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 4(48). – С. 196-200.

4. To assess the biocidal action of the drug based on sodium hypochlorite / M. P. Soltys, V. M. Gunchak, G. V. Rudyk [et al.] // Colloquium-Journal. – 2020. – No. 30-2(82). – P. 11-16. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-12236.

5. Игонин, А. С. Результаты исследования протравливания семян / А. С. Игонин // Вестник науки. – 2022. – Т. 3, № 6(51). – С. 312-316.

6. Онкаев, А.В. Исследование влияния дезинфекции химическими растворами на энергетические свойства зернового материала / А.В. Онкаев, И.А. Успенский, Н.В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 50-57.

7. Жолобова, И. С. Использование гипохлорита

натрия при лечении мелких домашних животных / И. С. Жолобова, В. И. Старков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 156-164.

8. Water resources of kalmykia: The contemporary aspect / M. M. Sangadzhiev, V. A. Onkaev, A. N. Badrudinova [et al.] // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2017. – Vol. 8, No. 5(21). – P. 1024-1032. – DOI 10.14505/jemt. v8.5(21).06.

9. Экономические перспективы развития водоснабжения в Калмыкии / А. В. Онкаев, Т. К. Шушунова, О. Ш. Кедеева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 6. – С. 244-250.

10. The use of wastewater treatment facilities in the steppe regions of the Republic of Kalmykia / V. A. Onkaev, A. A. Dordzhiev, A. N. Badrudinova [et al.] // Asia Life Sciences. – 2020. – Vol. Supp22, No. 2. – P. 301-314.

11. Дедова, Э. Б. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления / Э. Б. Дедова, Б. А. Гольдварг, Н. Л. Цаган-Манджиев // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 2(83). – С. 63-71.

12. Warren E Copes 1, Peter S Ojiambo. Efficacy of Hypochlorite as a Disinfestant Against Fungal Pathogens in Agricultural and Horticultural Plant Production: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2021. No 12. Pp. 4084 – 4094.

13. Медриш Г.Л., Тейшева А.А., Басин Д.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. -М: Стройиздат, 1982. – 81 с.

14. Пчельников И.В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента - гипохлорита натрия электролизом морской воды: на примере Черного моря: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пчельников Игорь Викторович; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Волгоград, 2015 – 155 с.

15. Схема территориального планирования республики Калмыкия: офиц. сайт. URL: https://uchebana5.ru/cont/1062565.html

16. Разина Н. Ф. Окисные электроды в водных растворах / Н. Ф. Разина – Алма-Ата: Издательство «Наука» Казахской ССР, 1982. - 161 с.

17. Нгуен Тхи Туан Зьеп. Технология производства дезинфицирующего реагента - гипохлорита натрия из хлоридсодержащих природных вод (на примере республики Вьетнам): специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Тхи Туан Зьеп; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Москва, 2022 – 143 с.

18. Наумова, О. В. Особенности использования гипохлорита натрия в сельском хозяйстве. Технология приготовления раствора в малогабаритном мобильном устройстве / О. В. Наумова, М.В. Карпов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 120-127.

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

References

1. Regina Boger, Karl Rohn, Nicole Kemper, Jochen Schulz. Sodium Hypochlorite Treatment: The Impact on Bacteria and Endotoxin Concentrations in Drinking Water Pipes of A Pig Nursery. 2020. No10. Pp. 1-12.

2. Vliyanie gipohlorita natriya na mikrobiotu i zapah navoznyh stokov / N. V. Syrchina, L. V. Pilip, E. P. Kolevatyh [i dr.] // Povolzhskij ekologicheskij zhurnal. – 2023. – № 1. – S. 107-116.

3. Effektivnost' ispol'zovaniya rastvora gipohlorita natriya protiv vozbuditelej askaridioza i geterakidoza ptic / S. Yu. Bajramov, Z. B. Komarova, A. A. Mosolov, Yu. N. Nelepov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2017. – № 4(48). – S. 196-200.

4. To assess the biocidal action of the drug based on sodium hypochlorite / M. P. Soltys, V. M. Gunchak, G. V. Rudyk [et al.] // Colloquium-Journal. – 2020. – No. 30-2(82). – P. 11-16. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-12236.

5. Igonin, A. S. Rezul'taty issledovaniya protravlivaniya semyan / A. S. Igonin // Vestnik nauki. – 2022. – T. 3, № 6(51). – S. 312-316.

6. Onkaev, A.V. Issledovanie vliyaniya dezinfekcii himicheskimi rastvorami na energeticheskie svojstva zernovogo materiala / A.V. Onkaev, I.A. Uspenskij, N.V. Limarenko [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 2. – S. 50-57.

7. Zholobova, I. S. Ispol'zovanie gipohlorita natriya pri lechenii melkih domashnih zhivotnyh / I. S. Zholobova, V. I. Starkov // Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 107. – S. 156-164.

8. Water resources of kalmykia: The contemporary aspect / M. M. Sangadzhiev, V. A. Onkaev, A. N. Badrudinova [et al.] // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2017. – Vol. 8, No. 5(21). – P. 1024-1032. – DOI 10.14505/jemt. v8.5(21).06.

9. Ekonomicheskie perspektivy razvitiya vodosnabzheniya v Kalmykii / A. V. Onkaev, T. K. Shushunova, O. Sh. Kedeeva [i dr.] // Innovacii i investicii. – 2018. – № 6. – S. 244-250.

10. The use of wastewater treatment facilities in the steppe regions of the Republic of Kalmykia / V. A. Onkaev, A. A. Dordzhiev, A. N. Badrudinova [et al.] // Asia Life Sciences. – 2020. – Vol. Supp22, No. 2. – P. 301-314.

11. Dedova, E. B. Degradaciya zemel' Respubliki Kalmykiya: problemy i puti ih vosstanovleniya / E. B.

Dedova, B. A. Gol'dvarg, N. L. Cagan-Mandzhiev // Aridnye ekosistemy. – 2020. – T. 26, № 2(83). – S. 63-71.

12. Warren E Copes 1, Peter S Ojiambo. Efficacy of Hypochlorite as a Disinfestant Against Fungal Pathogens in Agricultural and Horticultural Plant Production: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2021. No 12. Pp. 4084 – 4094.

13. Medrish G.L., Tejsheva A.A., Basin D.L. Obezzarazhivanie prirodnyh i stochnyh vod s ispol'zovaniem elektroliza. -M: Strojizdat, 1982. – 81 s.

14. Pchel'nikov I.V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva obezzarazhivayushchego reagenta - gipohlorita natriya elektrolizom morskoj vody: na primere Chernogo morya: special'nost' 05.23.04 «Vodosnabzhenie, kanalizaciya, stroitel'nye sistemy ohrany vodnyh resursov»: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Pchel'nikov Igor' Viktorovich; Yuzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova. – Volgograd, 2015 – 155 c.

15. Skhema territorial'nogo planirovaniya respubliki Kalmykiya: ofic. cajt. URL: https://uchebana5.ru/cont/1062565.html

16. Razina N. F. Okisnye elektrody v vodnyh rastvorah / N. F. Razina – Alma-Ata: Izdatel'stvo «Nauka» Kazahskoj SSR, 1982. - 161 s.

17. Nguen Thi Tuan Z'ep. Tekhnologiya proizvodstva dezinficiruyushchego reagenta - gipohlorita natriya iz hloridsoderzhashchih prirodnyh vod (na primere respubliki V'etnam): special'nost' 05.23.04 «Vodosnabzhenie, kanalizaciya, stroitel'nye sistemy ohrany vodnyh resursov»: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Nguen Thi Tuan Z'ep; Yuzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova. – Moskva, 2022 – 143 c.

18. Naumova, O. V. Osobennosti ispol'zovaniya gipohlorita natriya v sel'skom hozyajstve. Tekhnologiya prigotovleniya rastvora v malogabaritnom mobil'nom ustrojstve / O. V. Naumova, M.V. Karpov // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2023. – № 9. – S. 120-127.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Онкаев Адик Викторович, аспирант кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО Южно-оссийский государственный политехнический университет, onkaev.adik08@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, д-р техн наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, yuival@rambler.ru

Лимаренко Николай Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, профессор кафедры «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО «РГАТУ им. П.А. Костычева», limarenkodstu@yandex.ru

Пчельников Игорь Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет, pchelnikov.igor@mail.ru

Author Information

Onkaev Adik V., PhD student, Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection, South Russian State Polytechnic University, onkaev.adik08@yandex.ru

Uspensky Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of automotive and tractor equipment and thermal power engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yuival@rambler.ru

Limarenko Nikolay V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Instrumentation and Biomedical Engineering, Don State Technical University, Professor of the Department of Technical Operation of Transport, P.A. Kostychev Russian State Technical University, limarenkodstu@yandex.ru

Pchelnikov Igor V., Candidate of Sciences, Associate Professor of the Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection, South Russian State Polytechnic University, pchelnikov.igor@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.09.2024; одобрена после рецензирования 26.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 19.09.2024; approved after reviewing 26.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 146-152
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp.146-152

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.347
DOI 10.36508/RSATU.2024.60.82.021

ОБОСНОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ КОЛЕБАНИЯ РАСХОДА ВОДЫ НА СКЛОНАХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНОЙ

Анатолий Иванович Рязанцев [1] ✉, Юрий Хсанович Шогенов [2], Евгений Юрьевич Евсеев [3], Сергей Леонидович Шленов[4]

[1] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия
[2] ФГБУ «Российская академия наук» (РАН), Москва, Россия
[3] ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет», г.о. Коломна, Россия
[4] ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г.о. Коломна, Россия

[1] ryazantsev.41@mail.ru
[2] yh1961@yandex.ru
[3] evseev.evgeniy.1995@mail.ru
[4] info@raduga.mcx.gov.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Цель данной работы заключается в улучшении качества полива дождевальной машиной «Кубань-ЛК» склоновых земель. Опыт дождевания склонов показывает, что полив повсеместно сопровождается ирригационной эрозией почв. Это происходит в основном по причине механического переноса опыта проектирования и эксплуатации дождевальных систем на равнине с ровными территориями на склоны. На последних недопустимо образование стока, так как любой излишек воды на склоне может служить очагом эрозии почвы.*
Методология. *В работе обосновывается техническое решение, связанное с установкой на многоопорной дождевальной машине кругового действия «Кубань-ЛК», на водопроводящем трубопроводе, дождевальных аппаратов типа «Фрегат» первой и второй серии. Они устанавливаются через каждые 9,5 м на первые 2/3 длины машины от центральной опоры и в концевой части, составляющей 1/3 длины машины, через каждые 2,5 м.*
Результаты. *В ходе экспериментальных исследований был выполнен расчет технических характеристик и расстановки дождевальных аппаратов. Он проводился для 6-тележечной дождевальной машины «Кубань-ЛК». Длина указанной машины составляет 278 м, при этом расход воды – 22 л/с. В результате выполненных математических расчетов были получены: эффективная площадь полива; минимальная норма полива; норма полива в зависимости от ПВ (%) таймера.*
Заключение. *Результаты исследования показали, что оптимизация схем расстановки дождеобразующих устройств на ДМ «Кубань-ЛК» в условиях склоновых площадей должна производиться при повышенном давлении при нулевом уклоне, учитывающем добавку от его положительного значения. Отмеченное позволило достичь мелкокапельного искусственного дождя, который полностью впитывается в почву, при этом не разрушая почвенной структуры.*

Ключевые слова: *дождевальная машина; склоновые площади; эрозия почвы; давление воды; дождеобразующие устройства; расход воды; напор*

Для цитирования: *Рязанцев А.И., Шогенов Ю.Х., Евсеев Е.Ю., Шленов С.Л. Обоснование снижения колебания расхода воды на склонах электрифицированной дождевальной машиной // Вестник рязанского государственного агротехнологического университета имени П..А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С. 146-152 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.60.82.021*

© Рязанцев А.И., Шогенов Ю.Х., Евсеев Е.Ю., Шленов С.Л.,2024 г.

Original article

JUSTIFICATION FOR REDUCING FLUCTUATIONS IN THE CONSUMPTION OF WATER ON THE SLOPES OF AN ELECTRIFIED SPRINKLER MACHINE

Anatoly I. Ryazantsev [1] ✉, Yuri H. Shogenov [2], Evgeny Yu. Evseev [3], Sergey L. Shlenov [4]

[1] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[2]Russian Academy of Sciences,Moscow, Russia
[3] State University of Social Sciences and Humanities
[4] All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems «Raduga»

[1] ryazantsev.41@mail.ru
[2] yh1961@yandex.ru
[3] evseev.evgeniy.1995@mail.ru
[4] info@raduga.mcx.gov.ru

Abstract.
Problem and purpose. *The purpose of this work is to improve the quality of irrigation by the Kuban-LC sprinkler machine on sloping lands. The experience of sprinkling slopes shows that irrigation is everywhere accompanied by irrigation erosion of soils. This is mainly due to the mechanical transfer of experience in the design and operation of sprinkler systems on a plain with flat areas on the slopes. In the latter, the formation of runoff is unacceptable, since any excess water on the slope can serve as a source of soil erosion.*
Methodology. *The paper substantiates a technical solution related to the installation on a multi-support circular sprinkler machine "Kuban-LC", on the water supply pipeline of sprinklers of the type "Frigate" of the first and second series. They are installed every 9.5 m on the first 2/3 of the length of the machine from the central support and in the end part, which is 1/3 of the length of the machine every 2.5 m.*
Results. I*n the course of experimental studies, the calculation of the technical characteristics and arrangement of sprinklers was performed. It was carried out for a 6-trolley sprinkler machine "Kuban-LC". The length of the specified machine is 278 m, while the water consumption is 22 l/s. As a result of the performed mathematical calculations, the following were obtained: effective irrigation area; minimum irrigation rate; irrigation rate depending on the PV (%) of the timer.*
Conclusion. *The results of the study showed that the optimization of the schemes for the arrangement of rain-forming devices on the Kuban-LC DM, in conditions of sloping areas, should be carried out at increased pressure at zero slope, taking into account the addition of its positive value. This made it possible to achieve fine-drop artificial rain, which is completely absorbed into the soil, while not destroying the soil structure.*

Key words: *sprinkler; slope areas; soil erosion; water pressure; rain-forming devices; water flow; pressure*
For citation: *Ryazantsev A.I., Shogenov Yu.H., Evseev E.Yu., Shlenov S.L. Justification for reducing fluctuations in the consumption of water on the slopes of an electrified sprinkler machine // Herald of Ryazan State Agricultural University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P.146-152 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.60.82.021*

Введение

Развитие мелиорации земель в Российской Федерации сопряжено со сложной проблемой орошения склонов. Мелиоративный фонд нашей страны составляет по проектным данным 9,47 млн гектаров, в том числе на земли с уклоном 0,02-0,10 приходится 42,4 % всего ирригационного фонда [10].

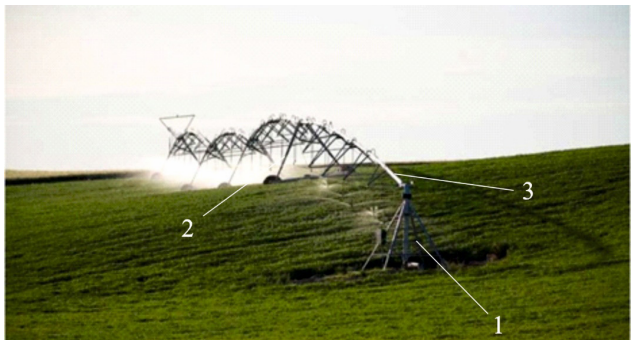
Опыт дождевания склонов показывает, что полив повсеместно сопровождается ирригационной эрозией почв. Это происходит в основном по причине механического переноса опыта проектирования и эксплуатации дождевальных систем на равнине с ровными территориями на склоны. На последних недопустимо образование не только стока, так как любой излишек воды на склоне может служить очагом эрозии почвы [7]. На этих же землях сильно развивается ливневая эрозия почвы. Большая часть ливневых осадков (1/2-3/4), интенсивностью 8-10 мм/мин, стекает по склону, вызывая эрозию почв и смыв значительной части внесенных удобрений и пестицидов [2, 9].

По параметрам тяговых усилий и проходимости на склоне выгодно отличается дождевальная машина кругового действия «Кубань-ЛК», позволяющая поливать склоновые земли общим уклоном до 0,05 (рис. 1). Технические возможности данной машины обеспечивают расширение пределов ее применения на склоновых площадях. Однако при этом сильно проявляется ирригационная эрозия [5, 6, 14].

Анализ возможных технических решений по улучшению качества полива машиной «Кубань-ЛК» склоновых земель показывает, что наилучшим решением является оптимизация схемы расстановки дождевальных аппаратов. Поставленная цель достигается тем, что в многоопорной дождевальной машине кругового действия «Кубань-ЛК» водопроводящий трубопровод оснащается дождевальными аппаратами типа «Фрегат» первой и второй серии. Они устанавливаются через каждые 9,5 м на первые 2/3 длины машины от центральной опоры и в концевой части, составляющей 1/3 длины машины, через каждые 2,5 м [16, 17].

Сущность предлагаемого технического ре-

шения заключается в следующем. У серийной машины «Кубань-ЛК» наиболее опасной, в отношении ирригационной эрозии, является зона, расположенная в конце водопроводящего трубопровода, так как здесь дождевальные аппараты имеют большой диаметр насадок и образуют крупнокапельный дождь. Однако при расстановке дождевальных аппаратов в концевой части дождевального трубопровода через каждые 2,5 м достигается уменьшение диаметров насадок и, следовательно, крупность капель искусственного дождя. В результате создается мелкокапельный искусственный дождь, который полностью впитывается в почву и при этом не разрушается почвенная структура [11].



1 – неподвижная опора; 2 – ходовая тележка; 3 – центральный водопровод

Рис.1 – Общий вид ДМ «Кубань-ЛК» на склоне

Fig. 1 – General view of the Kuban-LC DM on the slope

Исследовательская часть

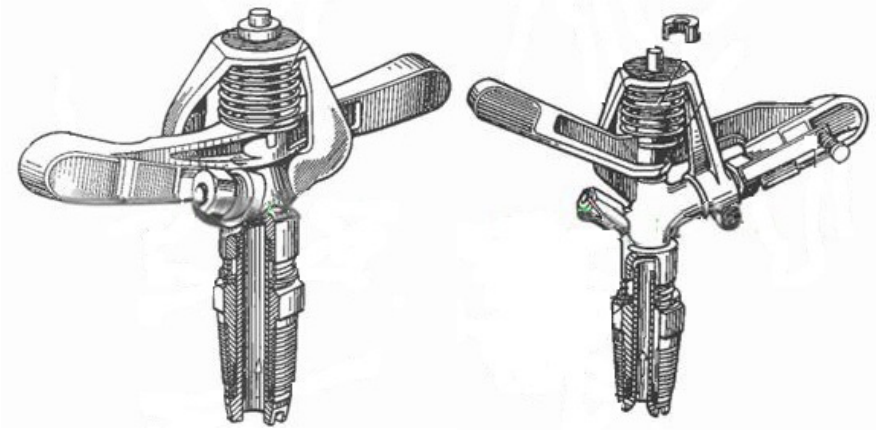
Анализ возможных технических решений по улучшению качества полива машиной «Кубань-ЛК» склоновых земель показывает, что наилучшим решением является оптимизация схемы расстановки дождевальных аппаратов. Поставленная цель достигается тем, что в многоопорной дождевальной машине кругового действия «Кубань-ЛК» водопроводящий трубопровод оснащается дождевальными аппаратами типа «Фрегат» первой и второй серии. Они устанавливаются через каждые 9,5 м на первые 2/3 длины машины от центральной опоры и в концевой части, составляющей 1/3 длины машины, через каждые 2,5 м [16, 17].

Сущность предлагаемого технического решения заключается в следующем. У серийной машины «Кубань-ЛК» наиболее опасной, в отношении ирригационной эрозии, является зона, расположенная в конце водопроводящего трубопровода, так как здесь дождевальные аппараты имеют большой диаметр насадок и образуют крупнокапельный дождь. Однако при расстановке дождевальных аппаратов в концевой части дождевального трубопровода через каждые 2,5 м достигается уменьшение диаметров насадок и, следовательно, крупность капель искусственного дождя. В результате создается мелкокапельный искусственный дождь, который полностью впитывается в почву и при этом не разрушается почвенная структура [11].

Проведенные поисковые исследования показали, что подобное техническое решение неизвестно. Отличительными признаками предлагаемого решения являются [1, 8, 15]:

– оснащение дождевальной машины «Кубань-ЛК» лишь аппаратами типа «Фрегат» первой и второй серий (рис. 2);

– конструкция водопроводящего трубопровода со штуцерами для соединения дождевальных аппаратов через 9,5 м до расстояния 2/3 его длины, а в концевой части – через 2,5 м.



а – серия №1; б – серия №2

Рис.2 – Дождевальные аппараты «Фрегат»

Fig. 2 – Sprinklers «Frigate»

Исследованиями установлено, что на повышенных уклонах и вдоль водопроводящего трубопровода (0,07), в целях предотвращения ирригационной эрозии необходимо уменьшение удельной мощности дождя за счет снижения расходов воды в концевой части машины. Таким требованиям могут отвечать машины длиной 200-300 м с расходами воды 20-25 л/с, при оптимизации схем расстановки дождеобразующих устройств [3, 4, 13].

Расчет технических характеристик и расстановки дождевальных аппаратов проводился для 6-тележечной дождевальной машины «Кубань-ЛК». Длина указанной машины составляет 278 м, при этом расход воды 22 л/с.

Эффективная площадь полива определяется по представленной зависимости (1):

$$F = (L_k + 5)^2 \times \pi = (278 + 5)^2 \times 3{,}14 = 25{,}2 \text{ га} \quad (1)$$

где: L_k – длина машины, м

Минимальное время одного оборота составляет (2):

$$T = \frac{2 \times \pi \times R_k}{60} \times v \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

$$T = \frac{2 \times 3{,}14 \times 251}{60 \times 1{,}8} = 14{,}6 \text{ ч},$$

га

Минимальная норма полива определяется по формуле (3):

$$m = 3{,}6 \times \frac{Q \times T}{F} \cdot \text{м}^3/\text{га} \quad (3)$$

где Q – расход воды, л/с;

T – время оборота, ч;

F – площадь полива, га;

$$m = \frac{3{,}6 \times 22 \times 14{,}6}{25{,}2} = 45{,}5 \cdot \text{м}^3/\text{га}$$

Норма полива в зависимости от $ПВ$ (%) таймера определяется по формуле (4):

$$m_x = \frac{m_{\min} \times ПВ \times 100\%}{ПВ_x} \quad (4)$$

где: $ПВ_x$ – заданная установка таймера, %.

Расчет норм полива в зависимости от установок таймера представлен в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1 – Зависимость норм полива от установок таймера

$ПВ_x$, %	m,м³/га	$ПВ_x$,%	m,м³/га
100	46	30	153
80	58	20	230
60	77	15	307
50	92	13	354
40	115	10	460

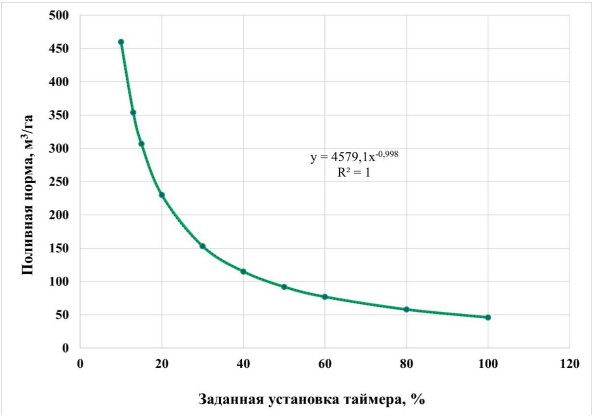


Рис. 3 – График зависимости расчетной поливной нормы от установки таймера

Fig. 3 – A graph of the dependence of the calculated irrigation rate on the timer setting

При этом гидравлические параметры, на примере дождевальной машины «Кубань-ЛК», рекомендуется определять по следующим основным исходным параметрам [12]:

– давление воды в концевой части на максимальном положительном уклоне не менее 3,3- 3,5 кг/см²;

– давление воды в концевой части на максимальном отрицательном уклоне не более 7,5 кг/см².

В этих условиях определяется только допустимая сумма абсолютных значений положительного и отрицательного уклонов по длине машины. Эту величину находим по формуле 5:

$$\sum i_{доп.} = \frac{\Delta H}{L_k} \quad (5)$$

где H – запас по давлению в концевой части, м;

L_k – конструктивная длина машины, м;

$$\Delta H = 75 - 35 = 40 \text{ м},$$

$$i_{доп.} = \frac{40}{278} = 0{,}144$$

То есть, расстановка дождеобразующих устройств производится при повышенном давлении воды в трубопроводе на нулевом уклоне с учетом добавки давления воды на входе в машину при положительном уклоне 0,07.

Такой метод, как отмечается ниже, позволяет снизить колебание расходов воды в концевой части трубопровода более чем в 2,5 раза по сравнению с методикой расчета серийно выпускаемых машин. Покажем это на примере «Кубань-ЛК» (6 тележек, длина машины 278 м). Напор в концевой части определяется добавкой давления H (на нулевом уклоне) $\Delta H = 278 \times 0{,}07 = 19{,}5$ м; $L_k = 34 + 19{,}5 = 53{,}5$ м (34 м – принятое минимальное давление).

Напор воды в концевой части на отрицательном уклоне.

Отклонение расходов воды через аппараты в концевой части от расчетных величин при нулевом уклоне составляет:

$$\Delta q = \frac{73}{53{,}5} - I = 0{,}168 \text{ или } = 16{,}8\%$$

По традиционной методике напор в концевой части на нулевом уклоне 34 м, на отрицательном – 73 м.

Отклонение расходов воды от расчетных:

$$\Delta q = \frac{73}{34} - I = 0{,}465 \text{ или } = 46{,}5\%$$

Таким образом, снижение колебаний расходов по предлагаемой методике составляет 2,8 раза.

Для данной машины в концевой части предлагаются два варианта расстановки аппаратов:

вариант I (серийный) – интервалы между аппаратами 7,5-10 м с использованием аппаратов третьей серии;

вариант II – интервалы между аппаратами 2,5 м с использованием аппаратов второй серии.

При этом аппараты снабжены дроссельными устройствами для обеспечения оптимального давления на входе в аппарат.

Измерения данного показателя производились при различных положениях машины на склоне. Расход воды определялся с помощью расходомера с шестикратной повторностью при расположении машины вдоль 1 – 4 створов. Результаты измерений представлены в виде регрессионного выражения (6) и в таблице 2. Как видно, относительное отклонение расхода воды машины от номинального на положительных уклонах 0,06 (створ 1), 0,04 (створ 3) и 0,014 (створ 2) составляет соответственно 18,6; 11,4; и 4,5 %. График зависимости расхода воды от относительного изменения расхода воды от номинального представлен на рисунке 4.

$$Q = 21,726 + 0,2131 \times N - 0,2269 \times \Delta Q \qquad (6)$$

где: Q – расход воды, л/с;

N – номер створа (уклон);

ΔQ – относительное изменение расхода воды от номинального, %

Таблица 2. – Изменение расхода воды при работе машины на полях с повышенными уклонами

Номер створа (уклон)	Расход воды, л/с	Относительное изменение расхода воды от номинально-го, %
1 (вверх по склону, уклон 0,06)	17,9	18,6
2 (уклон +0,014)	21	4,5
3 (вверх по склону, уклон 0,04)	19,5	11,4
4 (поперек склона)	22,4	1,8

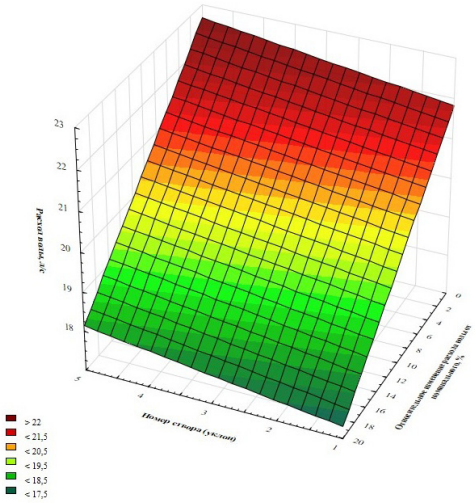


Рис.4 – График зависимости расхода воды от относительного изменения расхода воды от номинального в соответствующем номере створа ДМ

Fig. 4 – A graph of the dependence of water flow on the relative change in water flow from the nominal one in the corresponding number of the DM gate

Приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о незначительном колебании расхода воды шеститележечной модификации машины «Кубань-ЛК», оснащенной в концевой части аппаратами 2 с шагом 2,5 м. При работе машины на склонах крутизной 0,03-0,06 колебание расхода воды не превышало 18 %.

Заключение

Приведенные исследования показали, что оптимизация схем расстановки дождеобразующих устройств на ДМ «Кубань-ЛК», в условиях склоновых площадей, должна производиться при повышенном давлении при нулевом уклоне, учитывающем добавку от его положительного значения.

Список источников

1. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Оценка агротехнических и гидравлических характеристик распыла при работе различных типов щелевых распылителей // Аграрный научный журнал. 2022. №4. С.70-75.

2. Гаврилица А.О., Пеньков М.С., Мангул И.Д., Рязанцев А.И. Рекомендации по обоснованию рациональной технологии полива склоновых земель машиной «Фрегат». – Кишинев, Картя Молдовеняскэ, - 1990 – 34 с.

3. ГОСТ ИСО 11545-2004. Оборудование сельскохозяйственное оросительное, машины дождевальные кругового и поступательного действий с дождевальными аппаратами или распылителями. Определение равномерности орошения. - М.: Стандартинформ, 2004. – 24 с.

4. ГОСТ ИСО 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. - М.: Стандартинформ, 2004. - 60с.

5. Евсеев, Е. Ю. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

6. Евсеев, Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях / Е. Ю. Евсеев // Нива Поволжья. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.

7. Краснощеков, В. С. Технологическое оборудование МДЭФ «Кубань» для полива пальметных

садов / В. С. Краснощеков, Е. Н. Сафонова // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 4. – С. 31-33. – EDN SFYPSJ.

8. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

9. Оптимальная равномерность полива / И. Варлев // Гидравлика и мелиорация. - М., 1981. - № 6.- С. 77-81.

10. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

11. Рязанцев А.И. Повышение опорных свойств многоопорной машины «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. // Наука в центральной России. 2022. №6 (60). С.35-41.

12. Рязанцев, А. И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий / А. И. Рязанцев, А. О. Гаврилица. – Кишинев : Штиинца, 1991. – 206 с. – ISBN 5-376-01018-X. – EDN WJRCUO.

13. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

14. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев, Г. К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

15. Технические условия ТУ 4734-350-00008064-2005 / Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1» // ФГНУ ВНИИ «Радуга» - Коломна, 2005.

16. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И., Евсеев Е.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2019. №4 (44). С.110-113.

17. Technological features of irrigation and assessment indicators of multibasic irrigation machines running systems efficiency (on the example of im Kuban – LK1) / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Smirnov A.I., EvseevE. Yu., Akhtyamov A.A., Rembalovich G.K. // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019, - Т. 8. № 8 S3. С. 404-406.

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

References

1. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Ocenka agrotekhnicheskih i gidravlicheskih harakteristik raspyla pri rabote razlichnyh tipov shchelevyh raspylitelej // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2022. №4. S.70-75.

2. Gavrilica A.O., Pen'kov M.S., Mangul I.D., Ryazancev A.I. Rekomendacii po obosnovaniyu racional'noj tekhnologii poliva sklonovyh zemel' mashinoj «Fregat». – Kishinev, Kartya Moldovenyaske, - 1990 – 34 s.

3. GOST ISO 11545-2004. Oborudovanie sel'skohozyajstvennoe orositel'noe, mashiny dozhdeval'nye krugovogo i postupatel'nogo dejstvij s dozhdeval'nymi apparatami ili raspylitelyami. Opredelenie ravnomernosti orosheniya. - M.: Standartinform, 2004. – 24 s.

4. GOST ISO 8224-1-2004. Mashiny dozhdeval'nye podvizhnye. Chast' 1. Ekspluatacionnye harakteristiki i metody laboratornyh i polevyh ispytanij. - M.: Standartinform, 2004. - 60s.

5. Evseev, E. Yu. Povyshenie proizvoditel'nosti mnogofunkcional'noj mashiny krugovogo dejstviya na sklonah / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazancev // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2023. – T. 15, № 4. – S. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

6. Evseev, E. Yu. Povyshenie effektivnosti primeneniya mnogofunkcional'noj mashiny na sklonovyh ploshchadyah / E. Yu. Evseev // Niva Povolzh'ya. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.

7. Krasnoshchekov, V. S. Tekhnologicheskoe oborudovanie MDEF «Kuban'» dlya poliva pal'metnyh sadov / V. S. Krasnoshchekov, E. N. Safonova // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 1991. – № 4. – S. 31-33. – EDN SFYPSJ.

8. Obosnovanie regulirovaniya raskhoda dozhdeval'nyh apparatov shirokozahvatnyh mashin krugovogo dejstviya / A. I. Ryazancev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 2022. – № 3. – S. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

9. Optimal'naya ravnomernost' poliva / I. Varlev // Gidravlika i melioraciya. - M., 1981. - № 6.- S. 77-81.

10. Resursosberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: sprav. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2015. – 264 s.

11. Ryazancev A.I. Povyshenie opornyh svojstv mnogoopornoj mashiny «Kuban'-LK1» / Ryazancev A.I., Zazulya A.N., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. // Nauka v central'noj Rossii. 2022. №6 (60). S.35-41.

12. Ryazancev, A. I. Optimizaciya shirokozahvatnyh dozhdeval'nyh mashin krugovogo dejstviya dlya

slozhnyh pochvenno-rel'efnyh uslovij / A. I. Ryazancev, A. O. Gavrilica. – Kishinev : Shtiinca, 1991. – 206 s. – ISBN 5-376-01018-X. – EDN WJRCUO.

13. STO AIST 11.1 – 2010. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Mashiny i ustanovki dozhdeval'nye. Metody ocenki funkcional'nyh pokazatelej / FGBNU «Rosinformagrotekh». – M., 2012. – 54 s.

14. Tekhnicheskie resheniya po povysheniyu proizvoditel'nosti mnogofunkcional'noj mashiny krugovogo dejstviya na sklonovyh uchastkah / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazancev, G. K. Rembalovich [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2023. – T. 15, № 2. – S. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

15. Tekhnicheskie usloviya TU 4734-350-00008064-2005 / Mashina dozhdeval'naya elektrificirovannaya krugovaya «Kuban'-LK1» // FGNU VNII «Raduga» - Kolomna, 2005.

16. Tekhnologicheskie osobennosti poliva i pokazateli ocenki effektivnosti hodovoj sistemy DM «Kuban'-LK1» / Ryazancev A.I., Antipov A.O., Mal'ko I.V., Smirnov A.I., Evseev E.Yu. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva, 2019. №4 (44). S.110-113.

17. Technological features of irrigation and assessment indicators of multibasic irrigation machines running systems efficiency (on the example of im Kuban – LK1) / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Smirnov A.I., EvseevE. Yu., Akhtya-mov A.A., Rembalovich G.K. // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019, - T. 8. № 8 S3. S. 404-406.

Contributions of the authors:
All authors have made equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there isno conflict of interest.

Информация об авторах

Рязанцев Анатолий Иванович, *д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ryazantsev.41@mail.ru*

Шогенов Юрий Хасанович, *д-р техн. наук, ст. научный сотрудник, академик РАН, ФГБУ «Российская академия наук», начальник сектора механизации, электрификации и автоматизации Отдела сельскохозяйственных наук РАН, yh1961@yandex.ru*

Евсеев Евгений Юрьевич, *ст. препод. кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов, ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет», evseev.evgeniy.1995@mail.ru*

Шленов Сергей Леонидович, *ст. научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»), info@raduga.mcx.gov.ru*

Author Information

Ryazantsev Anatoly I., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ryazantsev.41@mail.ru*

Shogenov Yuri H., *Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Academitian of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanisation, Electrification and Automation Sector of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, yh1961@yandex.ru*

Yevseyev Evgeny Yu., *Senior Lecturer at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes, State University of Social Sciences and Humanities, evseev.evgeniy.1995@mail.ru*

Shlenov Sergey L., *Senior Researcher at the Department of Sprinkler Irrigation Systems at the All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Supply Systems Raduga (Federal State Budgetary Institution of Higher Research Institute Raduga), info@raduga.mcx.gov.ru*

Статья поступила в редакцию 25.10.2024; одобрена после рецензирования 05.12.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 25.10.2024; approved after reviewing 05.12.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, № 4, с. 153-160
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, № 4, pp. 153-160

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 699.812.3:631.3
DOI: 10.36508/RSATU.2024.21.83.022

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СРЕДСТВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ МЕР НА ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ТЕХНИКЕ

Анатолий Петрович Савельев[1] ✉, Ирина Александровна Никифорова[2], Ерванд Грантович Кеян[3], Ольга Александровна Тамошина [4]

[1,2] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
[4] Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в г. Оренбурге, г. Оренбург, Россия

[1] tbsap52@mail.ru
[2] irintamonikif@mail.ru
[3] keyan1959@mail.ru,
[4] otamoshina@mail.ru.

Аннотация.
Проблема и цель. *Как показывает статистика, соблюдение противопожарных мер в сельском хозяйстве является актуальной задачей. Еще более актуальной проблемой является обоснование выбора средств по соблюдению противопожарных мер на эксплуатируемой в сельском хозяйстве технике. Эффективность самих средств по обеспечению противопожарных мер несомненно должна быть обоснована с точки зрения целесообразности на основе сопоставления затрат и выгод. На сегодняшний день данный вопрос мог быть решен с помощью оценки пожарного риска, однако определение величин пожарного риска транспортного средства, равно как и сельскохозяйственной техники, недостаточно проработан.*
Методология. *В рамках проводимого исследования использованы такие методы, как анализ, синтез, моделирование, классификация, сравнение, наблюдение, опрос. Научное исследование по обеспечению противопожарных мер на эксплуатируемой сельхозтехнике проведено в Национальном исследовательском Мордовском государственном университете.*
Результаты. В ходе исследования проведен анализ пожаров и их причин с участием сельскохозяйственной техники. Проведен анализ нормативно-правовой базы по установлению требований пожарной безопасности, а также оценке пожарного риска сельскохозяйственной техники. Установлен подход к обоснованию мер по пожарной безопасности путем оценки пожарного риска на примере применения автоматической системы пожаротушения. В ходе решения проблемы выработаны предложения по совершенствованию системы обеспечения пожарной безопасности в рассматриваемой области исследования.
Заключение. *Обоснование выбора средств по обеспечению противопожарных мер эксплуатируемой сельскохозяйственной техники дает возможность осуществить индивидуальный подход к каждому сельскохозяйственному предприятию и учесть возможности, которыми данные предприятия располагают и при этом обеспечить единые обязательные требования пожарной безопасности, регламентируемые нормативно-правовыми документами как федерального, так и локального уровня.*

Ключевые слова: *причины пожаров, пожарная безопасность; сельскохозяйственная техника; параметры; системы пожаротушения; средства пожаротушения*

Для цитирования: *Савельев А.П., Никифорова И.А., Кеян Е.Г., Тамошина О.А. Обоснование выбора средств по обеспечению противопожарных мер на эксплуатируемой в сельском хозяйстве технике // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.153-160 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.21.83.022*

Original article

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF MEANS TO ENSURE FIRE PROTECTION MEASURES ON EQUIPMENT USED IN AGRICULTURE

Anatoly P. Savelyev[1] ✉, Irina A. Nikiforova[2], Yervand G. Keyan[3], Olga A. Tamoshina [4]

© Савельев А.П., Никифорова И.А., Кеян Е.Г., Тамошина О.А., 2024 г.

[1,2] National Research Mordovia State University, Saransk, Russia
[3] Orenburg State University, Orenburg, Russia
[4] National University of Oil and Gas "Gubkin University", Orenburg, Russia

[1] tbsap52@mail.ru,
[2] irintamonikif@mail.ru,
[3] keyan1959@mail.ru,
[4] otamoshina@mail.ru.

Abstract.
Problem and purpose. *As statistics show, compliance with fire protection measures in agriculture is an urgent task. An even more urgent problem is the justification of the choice of means to comply with fire protection measures on equipment used in agriculture. The effectiveness of the means themselves to ensure fire protection measures should undoubtedly be justified from the point of view of expediency based on a cost-benefit comparison. To date, this issue could be resolved using a fire risk assessment, but the definition of the fire risk of a vehicle, as well as agricultural machinery, has not been sufficiently developed.*
Methodology. *Within the framework of the research, such methods as analysis, synthesis, modeling, classification, comparison, observation, and survey were used. A scientific study on the provision of fire protection measures on operated agricultural machinery was conducted at the National Research Mordovian State University.*
Results. *n the course of the study, an analysis of fires and their causes with the participation of agricultural machinery was carried out. The analysis of the regulatory framework for establishing fire safety requirements, as well as assessing the fire risk of agricultural machinery, has been carried out. An approach has been established to substantiate fire safety measures by assessing fire risk using the example of an automatic fire extinguishing system. Also, in the course of solving the problem, proposals were developed to improve the fire safety system in the field of study under consideration.*
Conclusion. *Justification of the choice of means to ensure fire protection measures for operated agricultural machinery makes it possible to implement an individual approach to each agricultural enterprise and take into account the opportunities that these enterprises have and at the same time, ensure uniform mandatory fire safety requirements regulated by regulatory legal documents of both the federal and local levels.*
Key words: *causes of fires, fire safety; agricultural machinery; parameters; fire extinguishing systems; fire extinguishing means.*
For citation: *Savelyev A. P., Nikiforova I.A., Keyan Ye. G., Tamoshina O. A. Justification of the choice of means to ensure fire protection measures on equipment used in agriculture. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No 4, P.153-160 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.21.83.022*

Введение

Пожары с участием сельскохозяйственной техники и транспортных средств, особенно в период уборочных работ, являются нередкими. Согласно ст. 4 Федерального закона № 69-ФЗ от 21.12.1994 г. пожарная профилактика, а также спасение людей и имущества при пожарах являются одними из основных задач пожарной охраны. На сельскохозяйственных объектах с учетом нынешних темпов развития мобильных энергетических средств и интенсификацией их группового использования на сельскохозяйственных площадях обеспечение пожарной безопасности является актуальной проблемой. Причины пожаров образуют множество, в котором человеческий фактор играет существенную роль. В рамках концепции приемлемого риска данный фактор представляется устранимым, но с определенной долей допущения. На сегодняшний день определены допустимые уровни пожарных рисков Федеральным законом № 123-ФЗ от 22.07.2008 г., а также имеются нормативные документы, регламентирующие общий подход к управлению рисками. Применение теории риска при выборе средств обеспечения противопожарных мер могло бы существенно продвинуть решение задачи в сторону снижения пожаров с участием техники в сельском хозяйстве.

Методы исследования

В ходе исследования использован анализ научных статей по проблеме, а также нормативных документов в данной области: действующая методика в рамках Приказа МЧС РФ от 10.07.2009 г. № 404 (далее – Методика); новая Методика в рамках Приказа МЧС РФ от 26.06.2024 г. № 533, которая вводится с 01.01.2025 г.; положения процедуры управления пожарным риском на предприятии согласно ГОСТ Р 51901.10-2009. В ходе решения проблемы использован опрос по составленным опросным листам на основе форм приложения № 12 приказа МЧС России от 09.02.2022 г. № 78 и требований пожарной безопасности согласно действующим основополагающим нормативным документам: Постановление Правительства РФ № 1479 от 16.09.2020 г., Федеральный закон № 69-ФЗ от 21.12.1994 г., Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. и других. В ходе исследования проведена статистическая обработка опубликованных данных, взятых как из официальных источников, в частности, ВНИИПО [1-3], так и из работ исследователей России и Беларуси (Кадаев М.А., Капцевич В.М., Чугаев П.С., Лисай Н.К., Булыга Д.М., Адылин И.П., Шилин А.С., Пасовец В.Н., Сакович

Н.Е., Шкрабак В.С. и другие) [1-10].

Результаты исследований и их обсуждение

В рамках решения задачи необходимо указать на определенные проблемы, выявленные в ходе анализа данных, характеризующих обстановку с пожарами. Анализ данных ВНИИПО [1-3] за последние пять лет, представленный в таблице 1, позволяет сделать вывод о том, что тенденция пожаров в сельской местности характеризуется увеличением в 2023 году; это характерно и для количества погибших и травмированных.

Таблица 1 – Показатели по пожарам в сельской местности на фоне Российской Федерации за последние 5 лет

Показатели по пожарам	За период				
	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
Всего пожаров, ед. из них в сельской местности	471 426 205 695	439 306 205 540	390 764 175 435	352 509 160 199	360 891 173182
Всего прямой материальный ущерб от пожаров, тыс.руб. в том числе в сельской местности	18 170 365 5 996 030	20 876 301 6 970 487	16 248694 6 485 685	18 701 109 8 154 636	22 179 615 8 140 554
Погибшие в РФ, чел. из них в сельской местности	8 559 4 247	8 310 4 054	8 471 3 989	7 746 3 778	7 817 3 826
Травмированные в РФ, чел. из них в сельской местности	9 461 3 175	8 419 2 908	8 397 2 869	8 140 2 873	8 495 2 980

В ходе нашего исследования установлено, что ВНИИПО [1-3] в качестве причин пожаров рассматривает лишь нарушение правил устройства и эксплуатации транспортных средств (ТС). Делая акцент на развитии пожаров по данной причине, нужно отметить, что на фоне спада в период с 2019 г. по 2022 г. по количеству пожаров как по России в целом, так и в сельской местности, в 2023 году наблюдается уверенный рост (табл. 2).

Таблица 2 – Анализ пожаров по причине нарушения правил устройства и эксплуатации ТС в сельской местности Российской Федерации с 2019 по 2023 гг.

Зона	Количество пожаров по годам, ед.				
	2019	2020	2021	2022	2023
Российская Федерация	10 436	10 092	11 460	9 493	10 304
Сельская местность	3 948	4 078	4 435	4 076	4 304

Однако анализ официальной статистики ВНИИПО не дает возможности определить проблемы пожарной безопасности в области эксплуатации сельскохозяйственной техники, а некоторые показатели, касательно транспортных средств, начиная с 2023 года даже укрупнены с такими, как «здания и сооружения», что делает картину еще более обобщенной.

Следующий этап в решении проблемы связан с обоснованием причин возникновения пожаров на эксплуатируемой в сельском хозяйстве технике. Для этого необходимо конкретизировать наиболее пожароопасные виды техники. К сожалению, официальная статистика не позволяет это сделать достоверно, поэтому обратим внимание на классификацию сельхозтехники. В ТР ТС 010/2011 от 18.10.2011 г. колесные транспортные средства и сельскохозяйственные трактора и прицепы занимают особое место. В ГОСТ 24055-2016 акцентируется внимание на более подробном перечне сельскохозяйственной техники. Постановление Правительства РФ N 740 от 01.08.2016 г. позволяет полнее детализировать перечень сельхозтехники и в рамках классификации рассматривать уже 40 видов. На основании приводимых в данном Постановлении показателей эффективности можно понять, что уровень пожарной безопасности каждого объекта будет создаваться далеко не равными затратами. Поскольку спектр сельскохозяйственной техники весьма широк, нами предложены следующие параметры оценки ее пожаро- и взрывоопасности:

– стационарность;

– наличие электродвигателя более 4 кВт;

– наличие двигателя внутреннего сгорания более 50 см³: вид топлива и максимальный его запас;

– наличие горючей нагрузки – горючих материалов;

– наличие взрывоопасных веществ, создающих уровень НКПВ, и их запас;

– уровень автоматизации и роботизации техники или вероятность влияния человеческого фактора и присутствия человека;

– возможность мгновенного распространения пожара на другие объекты окружающей среды – уровень прямого и косвенного ущерба.

Превентивный анализ сельхозтехники по данным показателям показал, что к наиболее сложным с точки зрения обеспечения пожарной безопасности следует отнести следующую технику: тракторы сельскохозяйственные колесные общего назначения, универсально-пропашные, универсальные; комбайны зерноуборочные, кормоуборочные, свеклоуборочные; сушилки зерна; машины зерноочистительные.

Следующим немаловажным этапом в решении проблемы является установление причин возникновения пожаров с участием сельскохозяйственной техники. Согласно данным Министерства сельского, лесного хозяйства и природных ресурсов основной причиной называется человеческий фактор, а именно 62 % пожаров по мнению Министерства возникают именно по этой причине. Анализируя специфику состава сельскохозяйственной техники, можно сделать вывод, что основными причинами пожаров являются: замыкание жгута на массу при оплавлении его изоляции с участием сухих растительных остатков; разрушение изоляции пучка проводов при контакте с нагретыми до критических температур элементами гидросистемы, системы отвода выхлопных газов непосредственно от двигателя внутреннего сгорания, турбокомпрессора; налипание на пучки электропроводки пыли и мелких сухих растительных остатков; применение ненормативных предохранителей; неисправность подшипников; отсутствие уплотнительных элементов в элементах гидросистемы; ослабление болтовых соединений; натяжение ремней. К основным горючим материалам относятся: горюче-смазочные материалы, охлаждающая жидкость, растительные остатки, бортовая сеть. Основными источниками пожаров на сельхозтехнике являются: двигатель внутреннего сгорания, узлы трения, вращающиеся части механизмов, включая подшипники, аккумуляторный отсек, электропроводка. При этом человеческий фактор на всех этапах является сопутствующим и едва ли не главенствующим.

Учитывая показатель прямого и косвенного ущерба, можно представить, насколько высок его уровень даже по отдельно взятым объектам. Так, если рассмотреть предлагаемые на рынке и наиболее распространенные комбайны и тракторы, то можно сказать, что пожар на таком объекте уничтожает его полностью. Уровень наиболее вероятного ущерба при пожаре на популярных комбайнах и тракторах на основании данных по стоимости АО «Росагролизинг» [11] на 2024 год представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Наиболее вероятный ущерб при пожаре на комбайнах и тракторах на 2024г.

№ п/п	Объект	Масштаб ущерба, млн руб.
1	Комбайн S300 «NOVA-340»	от 7,860
2	Комбайн РСМ-152 «ACROS-595 Plus»	от 14,384
3	Комбайн КЗС-1218-29 (ДЕЛЮКС)	от 14,661
4	Комбайн КЗС-1218-29 (ПЕРЕСВЕТ)	от 17,765
5	Комбайн РСМ-161	от 25,179
6	Комбайн New Holland CR 9.90	от 65,000
7	Трактор Беларус-1221.3	от 4,067
8	Трактор Кировец К-742М	от 17,527
9	Трактор Кировец К-743М	от 16,701
10	Трактор Кировец К-746М	от 19,929

Ущерб от пожара увеличивается в несколько десятков и сотен раз, когда на одном поле концентрируется несколько десятков единиц сельхозтехники.

Учитывая весь перечень причин возникновения пожаров на рассматриваемых объектах, становится понятным, что для установления наиболее выраженных и определяющих сценариев развития пожароопасных ситуаций будут значимы следующие инициирующие аварии события: 1) разгерметизация бака с дизтопливом – полная, частичная; 2) загорание растительных остатков в местах контакта с нагревающимися узлами машины; 3) неисправность электрооборудования, в том числе аккумулятора, и нарушение изоляции жгута; 4) разгерметизация шлангов с пожароопасными техническими жидкостями (дизтопливо, масло в гидравлической системе и прочие). В расчетах ниже рассмотрим первый сценарий, как наиболее опасный.

Исходя из существующего комплекса нормативных требований в рамках действующей на данный момент нормативной базы, указанные причины пожаров на эксплуатируемой технике позволяют найти слабые звенья в обеспечении пожарной безопасности. В этом случае система обеспечения пожарной безопасности сельскохозяйственного объекта с участием сельхозтехники должна представлять комплекс, включающий как организационные меры, так и технические. Обеспечение обязательных мер во всем своем многообразии является важной задачей и в ряде случаев, если реально подходить к ситуации и учитывать вес человеческого фактора, невыполнимой полностью. И какие же все-таки меры необходимо внедрить, чтобы обеспечить нормы пожарной безопасности при эксплуатации сельхозмашин и как их выстроить по приоритетности? На данный вопрос ответ может дать оценка пожарного риска на рассматриваемом объекте и дальнейшее совершенствование техники, исключая влияние человеческого фактора. Поэтому считаем необходимым обосновывать внедрение таких противопожарных мер, которые значительно снижают пожарный риск техники, применяемой в сельском хозяйстве. Именно представление пожарного риска эксплуатируемой в сельском хозяйстве техники необходимо для внедрения первоочередных мер по обеспечению пожарной безопасности.

Так, на фоне рассмотренного выше перечня

мер, можно предположить, что внедрение автоматических систем пожаротушения (АСП) займет достойное место. Для оценки эффективности данной меры воспользуемся идеей оценки пожарного риска. Поскольку конкретика по оценке пожарного риска единицы техники, в том числе сельскохозяйственного назначения, отсутствует, воспользуемся Методикой в части расчета величины индивидуального риска на территории объекта.

Опираясь на подход, изложенный в Методике для оценки величин пожарного риска, на начальном этапе нужно обозначить сценарии развития пожара на сельскохозяйственной технике. Для этого возьмем в качестве опорной сельхозмашины трактор К-743М.

В качестве ключевого показателя принимаем величину индивидуального пожарного риска Rs (год-1) для управляющего машиной работника s, выражаемую, в свою очередь, через потенциальный риск, учитывающий вероятность присутствия работника в машине или при необходимости ее отсеке. Основываясь на положениях действующей Методики, представим схему определения расчетных величин пожарного риска сельскохозяйственной техники (машины) (табл. 4): определив условную вероятность поражения работника опасными факторами пожара при каждом сценарии, находим потенциальный риск; далее рассчитываем индивидуальный пожарный риск для работника.

Таблица 4 – Последовательность определения величины пожарного риска сельхозмашины

№ п/п	Величина пожарного риска	Формула расчета согласно Методике	Параметры
1	Условная вероятность поражения работника в i-ом отсеке машины при j-ом сценарии развития пожара, $Q_{УВ_{ij}}$	$Q_{УВij} = (1 - q_{Эij})(1 - q_{ПЗij})$	$q_{Эij}$– вероятность эвакуации работника; $q_{ПЗij}$– вероятность срабатывания системы пожарной защиты
2	Потенциальный риск в i-ой машине или ее отсеке (при необхо-димости), P_i	$P_i = \sum_{j=1}^{J} Q_{УВij} \cdot Q_{Пj}$	J – количество сценариев реализации пожара в машине; $Q_{Пj}$ – частота реализации сценария j в течение года, год$^{-1}$
3	Индивидуальный по-жарный риск работни-ка s при нахождении его в i-ом отсеке машины, R_s	$R_s = \sum_{i=1}^{I} q_{is} \cdot P_i$	q_{is} – вероятность нахождения работника s в машине или i отсеке I – количество рассматриваемых отсеков в машине

Можно дополнить область решения проблемы, включив в рассмотрение последовательность расчета индивидуального пожарного риска не только машины, но и территории, на которой работает группа машин, например, поле, однако это выходит за рамки данной статьи.

Для обоснования выбора средств по обеспечению противопожарных мер необходимо: 1) определиться с перечнем возможных средств в составе мер по обеспечению противопожарной безопасности; 2) оценить пожарные риски до и после внедрения меры, использующей выбранное средство из перечня; 3) оценить затраты на установку выбранного средства, а также наиболее вероятный и максимально возможный ущерб от воздействия на технику факторов пожара. Удовлетворение нормативному значению индивидуального пожарного риска можно считать необходимым и достаточным условием для внедрения выбранной меры.

Разделим вторую задачу на две части: в первой части выявим индивидуальный пожарный риск на сельхозмашине без АСП; во второй – с установленной АСП. Далее сравним значения и сделаем выводы.

В рамках первой части приведенные в приложении №1 Методики частоты реализации событий позволяют установить события, характерные для сельскохозяйственной техники. В нашем случае наиболее опасным является разгерметизация топливного бака. При этом частоты реализации событий с последующим истечением жидкости принимаем: $8{,}8.10^{-5}$ – для диаметра отверстия 25 мм; $1{,}2.10^{-5}$ – в случае образования диаметра в 100 мм, $5{,}0.10^{-6}$ – при полном разрушении.

Говоря же об условных вероятностях, их можем установить в первом приближении согласно Приложению №2 Методики. При рассмотрении сценариев для выбранного нами выше инициирующего события условные вероятности по сценариям составят: мгновенное воспламенение – 0,050; с последующим воспламенением – 0,061; сгорание с избыточным давлением облака с последующим воспламенением – 0,100.

По формуле (1) таблицы 4 имеем для рассмотренных сценариев

$$Q_{УВij} = (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 1.$$

Тогда потенциальный риск будет составлять для рассматриваемых сценариев по формуле (2) таблицы 4

$$P_i = 2{,}5 \cdot 10^{-7} + 3{,}05 \cdot 10^{-7} + 5{,}0 \cdot 10^{-7} = \\ = 1{,}05 \cdot 10^{-6}$$

И, таким образом, величина индивидуального риска R_s для работника по формуле (3) таблицы 4 составит

$$R_s = 1 \cdot 1{,}05 \cdot 10^{-6} = 1{,}05 \cdot 10^{-6}.$$

В этой части искомая величина пожарного риска превышает допустимое значение, равное 10^{-6} согласно Федеральному закону №123-ФЗ. При этом необходимо отметить, что не все сценарии являются учтенными, например, пожар пролива и прочие, которые, в свою очередь, еще более усугубят ситуацию.

В рамках второй части поставленной задачи при оснащения трактора АСП величины потенциального риска изменятся в сторону уменьшения с коэффициентом 0,05, так как предположительно АСП сработает с вероятностью 0,95. Поэтому величина потенциального риска будет составлять $5{,}25 \cdot 10^{-8}$. А поскольку вероятность присутствия работника равна 1 ввиду того, что рассматриваем машину с работающим двигателем внутреннего сгорания, то и индивидуальный пожарный риск также будет равен $5{,}25 \cdot 10^{-8}$. В этом случае риск приводится в соответствие с нормой, причем с запасом для неучтенных сценариев.

В отношении общей универсальности данных систем необходимо отметить, что их подбор осуществляется индивидуально для каждого типа сельхозтехники. В ходе подбора систем автоматического пожаротушения сельхозтехники нами проанализированы производители АСП в Российской Федерации. Нужно отметить разработки ГК ЭПОТОС, ТЕХНОТРЕЙД, ГРАНИТ-САЛАМАНДРА, ГК Этернис, ООО «ФорпостСпецМонтаж», МТС Снабжение и прочих производителей. Так, основными компонентами АСП являются: блок сигнализации и управления, модуль пожаротушения, датчики-извещатели. Наиболее подходящими, на наш взгляд, для тушения сельхозтехники можно назвать следующие АСП: 1) ГК ЭПОТОС на базе блока сигнализации и управления БСУ-02АМ-01-ВП, модуля порошкового пожаротушения БУРАН-7КДТ или БУРАН-0,5; 2) ТЕХНОТРЕЙД на базе автоматического генератора огнетушащего аэрозоля ФУМАРОЛА FR-500E; 750E; 1500E; 3) ГРАНИТ-САЛАМАНДРА на базе блока управления САП ТС, генератора огнетушащего аэрозоля серии АГС-11Т.

На завершающем этапе исследования нами рассмотрены решения, представленные выше, в ценовом соотношении. Так, обобщенные результаты анализа экономической выгоды от применения АСП на базе автоматического генератора огнетушащего вещества (ГОА) FR-750E представлены в таблице 5. При этом важно отметить, что выгода заключается в положительной разности стоимости сельхозмашины и затрат на приобретение и установку АСП.

Таблица 5 – Анализ АСП для единицы сельскохозяйственной техники

Марка сельхозмашины	Марка устанавливаемой АСП	Место установки АСП (отсеки)	Затраты на АСП и ее установку тыс. руб.	Стоимость новой сельхозмашины без АСП, тыс. руб.	Экономическая выгода с АСП, тыс. руб.
Кировец К-743М	На базе ГОА FR-750E	– ДВС (турбокомпрессор, выпускной коллектор); – гидравлики (гидромотор и гидрораспределитель); – электрооборудования (аккумулятор, распределительное устройство)	450,00	16 701,00	16 251,00

Очевидно, что при пожаре на сельхозмашине наличие двух огнетушителей не гарантирует защиту, так как здесь присутствует человеческий фактор, обуславливающий исход события умением, быстротой реакции, удаленностью от очага и другими факторами. И при этом сложно оценить вероятность срабатывания такой защиты и ее эффективность. Поэтому выгода от установки АСП сопоставима со стоимостью новой машины. При этом необходимо сделать оговорку, что оснащать АСП сельхозмашины лучше на этапе приобретения новой или с небольшим амортизационным износом, в крайнем случае, когда разница между остаточной стоимостью машины и затрачиваемыми средствами на оснащение машины АСП является положительной.

Заключение

Предложенный метод обоснования выбора средств по обеспечению противопожарных мер эксплуатируемой сельскохозяйственной техники дает возможность осуществить индивидуальный подход к каждому сельскохозяйственному предприятию и учесть возможности, которыми оно располагает, и при этом обеспечить единые обязательные требования пожарной безопасности, регламентируемые нормативно-правовыми документами как федерального, так и локального уровня. Исследования показали пробелы в официальной статистике по пожарам на сельхозтехнике. Предлагается конкретизировать данные по причинам именно в сельском хозяйстве, а также сделать их более доступными для исследования

в области обеспечения пожарной безопасности сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году : Статистический сборник. – М.: ВНИИПО, 2021. – 112 с.

2. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : статист. сб. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.

3. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году : информ.-аналитич. сб. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. – 110 с.

4. Кадаев М. А. Анализ статических данных пожаров на объектах сельскохозяйственного комплекса / М. А. Кадаев // Научный лидер. – 2023. – Выпуск № 36 (134). – URL: https://scilead.ru/article/4974-analiz-staticheskikh-dannikh-pozharov-na-obek.

5. Причины возникновения пожаров при работе мобильной сельскохозяйственной техники и их последствия / В. М. Капцевич, П. С. Чугаев, Н. К. Лисай, Д. М. Булыга // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4-6 июня 2014 г. – В 2ч. Ч.1. – Минск : БГАТУ, 2014. – С. 459-463. – Репозиторий Белорусского государственного аграрного технического университета. – URL: https://rep.bsatu.by/handle/doc/4086.

6. Адылин И. П., Шилин А. С. Противопожарная система защиты сельскохозяйственных машин / И. П. Адылин, А. С. Шилин // Безопасность производства. – 2024. – № 1. – С. 35-37.

7. Шкрабак В. С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве : учебник / В. С. Шкрабак, А. В. Луковников, А. К. Тургиев. – М.: КолосС, 2004. – 512 с.

8. Пути предотвращения пожаров на зерноуборочных комбайнах, возникающих за счет выделения тепла в узлах трения / В. Н. Пасовец, В. В. Лахвич, М. А. Антоненко, В. А. Сидарков // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – Т. 5. – № 2. – 2021. – С. 206-215. – КиберЛенинка : научная электронная библиотека открытого доступа. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/puti-predotvrascheniya-pozharov-na-zernouborochnyh-kombaynah-voznikayuschih-za-schet-vydeleniya-tepla-v-uzlah-treniya/viewer/.

9. Пасовец В. Н. Пожары на сельскохозяйственной технике и причины их возникновения / В. Н. Пасовец, В. В. Лахвич, М. А. Антоненко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – Т. 5. – № 2. – 2021. – С. 193-205. – КиберЛенинка : научная электронная библиотека открытого доступа. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pozhary-na-selskohozyaystvennoy-tehnike-i-prichiny-ih-vozniknoveniya/viewer.

10. Сакович Н. Е. Обеспечение пожарной безопасности транспортных средств в сельскохозяйственном производстве / Н. Е. Сакович, И. П. Адылин, А. С. Шилин // Вестник Брянской ГСХА. – 2023. – № 4(98). – С.57-63. – КиберЛенинка : научная электронная библиотека открытого доступа. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-pozharnoy-bezopasnosti-transportnyh-sredstv-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve.

11. АО «Росагролизинг» : официальный сайт. – URL: https://www.rosagroleasing.ru/catalog/.

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

References

1.Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu : Statisticheskij sbornik. – M.: VNIIPO, 2021. – 112 s.

2.Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu : statist. sb. – Balashiha: FGBU VNIIPO MChS Rossii, 2022. – 114 s.

3.Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2023 godu : inform.-analitich. sb. – Balashiha: FGBU VNIIPO MChS Rossii, 2024. – 110 s.

4.Kadaev M. A. Analiz staticheskih dannyh pozharov na ob"ektah sel'skohozyajstvennogo kompleksa / M. A. Kadaev // Nauchnyj lider. – 2023. – Vypusk № 36 (134). – URL: https://scilead.ru/article/4974-analiz-staticheskikh-dannikh-pozharov-na-obek.

5.Prichiny vozniknoveniya pozharov pri rabote mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki i ih posledstviya / V. M. Kapcevich, P. S. Chugaev, N. K. Lisaj, D. M. Bulyga // Sovremennye problemy osvoeniya novoj tekhniki, tekhnologij, organizacii tekhnicheskogo servisa v APK : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 4-6 iyunya 2014 g. – V 2ch. Ch.1. – Minsk : BGATU, 2014. – S. 459-463. – Repozitorij Belorusskogo gosudarstvennogo agrarnogo tekhnicheskogo universiteta. – URL: https://rep.bsatu.by/handle/doc/4086.

6.Adylin I. P., Shilin A. S. Protivopozharnaya sistema zashchity sel'skohozyajstvennyh mashin / I. P. Adylin, A. S. Shilin // Bezopasnost' proizvodstva. – 2024. – № 1. – S. 35-37.

7.Shkrabak V. S. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v sel'skohozyajstvennom proizvodstve : uchebnik / V. S. Shkrabak, A. V. Lukovnikov, A. K. Turgiev. – M.: KolosS, 2004. – 512 s.

8.Puti predotvrashcheniya pozharov na zernouborochnyh kombajnah, voznikayushchih za schet vydeleniya tepla v uzlah treniya / V. N. Pasovec, V. V. Lahvich, M. A. Antonenko, V. A. Sidarkov // Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MChS Belarusi. – T. 5. – № 2. – 2021. – S. 206-215. – KiberLeninka : nauchnaya elektronnaya biblioteka otkrytogo dostupa. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/puti-predotvrascheniya-pozharov-na-zernouborochnyh-kombaynah-voznikayuschih-za-schet-vydeleniya-tepla-v-uzlah-treniya/viewer/.

9.Pasovec V. N. Pozhary na sel'skohozyajstvennoj tekhnike i prichiny ih vozniknoveniya / V. N. Pasovec, V. V. Lahvich, M. A. Antonenko // Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MChS Belarusi. – T. 5. – № 2. – 2021. – S. 193-205. – KiberLeninka : nauchnaya elektronnaya biblioteka otkrytogo dostupa. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pozhary-na-selskohozyaystvennoy-tehnike-i-prichiny-ih-vozniknoveniya/viewer.

10.Sakovich N. E. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti transportnyh sredstv v sel'skohozyajstvennom proizvodstve / N. E. Sakovich, I. P. Adylin, A. S. Shilin // Vestnik Bryanskoj GSHA. – 2023. – № 4(98). – S.57-63. – KiberLeninka : nauchnaya elektronnaya biblioteka otkrytogo dostupa. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-pozharnoy-bezopasnosti-transportnyh-sredstv-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve.

11.AO «Rosagrolizing» : oficial'nyj sajt. – URL: https://www.rosagroleasing.ru/catalog/.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Савельев Анатолий Петрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия, tbsap52@mail.ru.

Никифорова Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия, irintamonikif@mail.ru.

Кеян Ерванд Грантович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия, keyan1959@mail.ru.

Тамошина Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент отделения химической технологии переработки нефти, газа и экологии, Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в г. Оренбурге, г. Оренбург, Россия, otamoshina@mail.ru.

Autor Information

Savelyev Anatoly P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Life Safety, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, tbsap52@mail.ru.

Nikiforova Irina A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, irintamonikif@mail.ru.

Keyan Yervand G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Cars, Orenburg State University, Orenburg, Russia, keyan1959@mail.ru.

Tamoshina Olga A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Oil, Gas Processing and Ecology, National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Orenburg, Russia, otamoshina@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.11.2024; одобрена после рецензирования 05.12.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 17.11.2024; approved after reviewing 05.12.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с.161-166
Vestnik RGATU, 2024, Vol. 16, №4, p.161-166

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 621.7.024
DOL: 10.36508/RSATU.2024.13.65.023

ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ ГРУЗОВИКА ОТ ОСАЖДЕННОЙ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ

Татьяна Евгеньевна Храпова[1] ✉, Иван Васильевич Фадеев[2], Борис Николаевич Глинкин[3], Николай Владимирович Лимаренко[4], Игорь Александрович Мурог[5]

[1,4] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева», г. Чебоксары, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», г. Чебоксары, Россия

[1] tat.khrapova2016@yandex.ru
[2] ivan-fadeev-2012@mail.ru
[3] gbn1961@mail.ru
[4] limarenkodstu@yandex.ru

Аннотация
Проблема и цель. *Изучить и проанализировать параметры мойки деталей грузовика с использованием искусственного загрязнения из песчано-глинистой суспензии, выявить эффективность удаления загрязнения на различных режимах мойки.*
Методология. *Главным фактором, определяющим долговечность деталей сельскохозяйственной техники является их очистка от загрязнения в процессе использования. Методика исследования основана на осаждении грязевых отложений с заданным составом песчано-глинистой суспензии на наружных поверхностях деталей, количества погружений, температуры воды, частоты вращения вала редуктора лабораторной установки.*
Результат. *Эффективность мойки деталей определяется параметрами процесса очищения с учетом температуры используемой воды и частоты вращения вала редуктора двигателя, приводящего в движение воду при промывке деталей, и состава загрязнения.*
Заключение. *Проведённые исследования удаления осажденной на детали песчано-глинистой суспензии показали, что процесс описывается нелинейной зависимостью, причём, с увеличением температуры и частоты вращения вала редуктора эффективность смыва грязевых отложений с детали возрастает.*

Ключевые слова: *сельскохозяйственная техника, очистка деталей, состав песчано-глинистой суспензии, скорость вращения вала редуктора, температура воды смыва*
Для цитирования: *Храпова Т.Е., Фадеев И.В., Глинкин Б.Н., Лимаренко Н.В., Мурог И.А. Очистка деталей грузовика от осажденной песчано-глинистой суспензии // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.161-166 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.13.65.023*

Original article

CLEANING TRUCK PARTS FROM PRECIPITATED SAND-CLAY SLURRY

Tatyana E. Khrapova [1]✉, Ivan V. Fadeev [2], Boris N. Glinkin [3], Nikolay V. Limarenko [4], Igor A. Murog [5]

[1,4] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[2] I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, Russia
[3] Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

[1] tat.khrapova2016@yandex.ru
[2] ivan-fadeev-2012@mail.ru
[3] gbn1961@mail.ru
[4] limarenkodstu@yandex.ru

© Храпова Т.Е., Фадеев И.В., Глинкин Б.Н., Лимаренко Н.В., Мурог И.А., 2024

Annotation.
Problem and purpose. *Problem and purpose: to study and analyze the parameters of washing truck parts using artificial pollution from sand-clay suspension, to identify the effectiveness of removing pollution in various washing modes.*
Methodology. *The main factor determining the durability of agricultural machinery parts is their cleaning from contamination during use. The research methodology is based on the deposition of mud deposits with a given composition of sand-clay suspension on the outer surfaces of parts, the number of dives, water temperature, and the rotational speed of the gearbox shaft of the laboratory installation.*
Result. *The efficiency of washing parts is determined by the parameters of the purification process, taking into account the temperature of the water used and the speed of rotation of the gear shaft of the engine that drives the water when washing parts, and the composition of contamination.*
Conclusion. *The conducted studies of the removal of the sand-clay suspension deposited on the part showed that the process is described by a nonlinear dependence, moreover, with an increase in temperature and speed of rotation of the gearbox shaft, the efficiency of flushing mud deposits from the part increases.*
Key words: *agricultural machinery, cleaning of parts, composition of sand-clay suspension, speed of rotation of the gearbox shaft, flushing water temperature*
For citation: *Khrapova T.E., Fadeev I.V., Glinkin B.N., Limarenko N.V., Murog I.A. Cleaning truck parts from precipitated sand-clay slurry // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P 161-166. https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.13.65.023*

Введение

Проведение исследований по повышению эффективности мойки деталей с целью обеспечения требуемого уровня работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники в процессе эксплуатации, а также сохранения оптимальных показателей технологических процессов существенно влияет на минимизацию износа сопряжений деталей и обеспечивает надежность машин [1, 2].

Качественная мойка позволяет сократить время, затрачиваемое на подготовку техники к работе [3, 4], что, в свою очередь, увеличивает общую производительность сельскохозяйственных работ [5, 6]. Оптимизация параметров процесса мойки техники (продолжительности, температуры моющей воды и частоты вращения детали в водном потоке) при техническом обслуживании гарантирует максимальную эффективность очистки поверхностей деталей машин [7, 8].

Материалы и методы исследования

Очистку погружением широко применяют для удаления загрязнений с деталей сложной формы в случаях, когда струйный способ не обеспечивает очистку поверхности без прямого попадания струи, или когда требуется очищать поверхности моющими жидкостями, которые нельзя, или нецелесообразно по каким-либо причинам использовать в струйных установках, а также на операциях, предшествующих струйным [9, 10].

Для проведения лабораторных исследований были использованы колесные гайки грузового автомобиля (рис. 1, а).

Для имитации загрязнения различной сложности, появляющегося при движении транспортного средства, была приготовлена песчано-глинистая суспензия, представляющая собой смесь песка, глины и воды в различном соотношении (рис. 1, б).

Песчано-глинистая суспензия №1 представляла собой смесь 50 г песка, 300 г глины и 500 г воды (~ 40 %). Соответственно, песчано-глинистая суспензия №2 – 100 г песка, 400 г глины и 500 г воды(~ 50 %) и №3 – 150 г песка, 500 г глины и 500 воды (~ 56 %) (рис. 2).

а) б)

Рис. 1 – Колесная гайка грузового автомобиля (а). Приготовление суспензии (б)
Fig. 1 – Truck wheel nut (a). Suspension preparation (b)

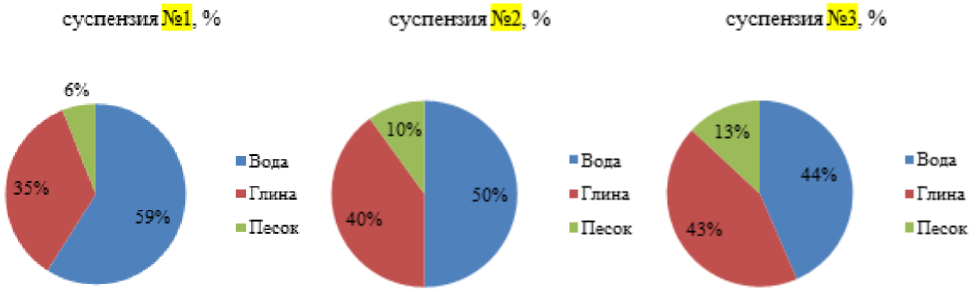
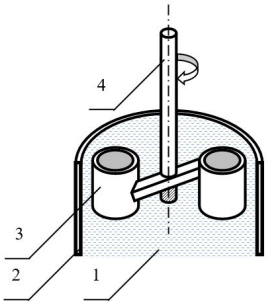


Рис. 2 – Диаграммы состава суспензий в %
Fig. 2 – Diagrams of the composition of suspensions in %

Нами изготовлена лабораторная установка, представляющая собой закрытую емкость с устройством для крепления деталей, имеющая в конструкции вал на подшипниках, а также электродвигатель с редуктором (рис.3).



1 – вода для мойки; 2 – моечная ванна;
3 – емкость для детали; 4 – вал для крепления
Рис.3 – Вариант лабораторной установки для первичной мойки
1 – water for washing; 2 – washing tub;
3 – container for the part; 4 – shaft for mounting
Fig.3 – A variant of a laboratory installation for primary washing

Исследования выполнялись в три этапа, последовательность которых была следующей: колесные гайки взвешивали на аналитических весах ВЛА, помещали в емкость, наполненную песчано-глинистой суспензией определенного состава (№1, №2, №3), для получения слоя загрязнения на их поверхности.

В экспериментах массу загрязнения, осажденного на поверхности гаек, последовательно увеличивали за счет количества погружений (1, 2, 3 погружения) гаек в суспензии.

После извлечения из суспензии гайки просушивали в течение 3 часов в условиях комнатной температуры, взвешивали, определяли массу осажденного загрязнения ($З_1$) по формуле:

$$З_1 = М_2 – М_1,$$

где $М_1$ – масса гайки без загрязнения, г;
$М_2$ – масса гайки с загрязнением, г.

Далее гайки устанавливали в лабораторную установку, наполненную водой заданной температуры, и включали электродвигатель. Частоту вращения вала лабораторной установки измеряли с помощью тахометра DT-2234C+ и регулировали через редуктор.

Для проведения первого этапа в качестве загрязнений использовали суспензии №1, №2 и №3, для смыва загрязнения – воду температурой 12˚ С. Частоту вращения вала редуктора устанавливали равной 60 об/мин.

При проведении второго этапа исследований использовали суспензии №1, №2 и №3, воду температурой 40˚ С. Частоту вращения вала редуктора устанавливали равной 100 об/мин.

При проведении третьего этапа – суспензии №1, №2 и №3, воду температурой 60˚ С. Частоту вращения вала редуктора устанавливали равной 140 об/мин.

Продолжительность смыва грязевых отложений на всех этапах исследования составляла 5 минут.

Массу удаленного загрязнения ($З_{уд.}$) определяли по формуле:

$$З_{уд.} = З_1 – З_2,$$

где $З_1$ – масса загрязнения до мойки, г;
$З_2$ – масса загрязнения после мойки, г.

Результаты исследования

Результаты лабораторных исследований, проведенных по вышеприведенной методике, приведены в таблицах 1, 2, 3 и на рисунках 4, 5, 6.

Таблица 1 – Результаты очистки грязевых отложений суспензии с гайки при температуре воды t=12° С и частоте вращения вала лабораторной установки n = 60 мин $^{-1}$

№ п/п	Кол-во погружений гайки в суспензию	Масса гайки,г		Масса загрязнения, г		
		без загрязнения, $М_1$	с загрязнением, $М_2$	до мойки, $З_1$	после мойки, $З_2$	удаленного,$З_{уд.}$
Суспензии №3						
1	1	588,3	595,6	7,3	3,7	3,6
2	2	595,2	603,8	8,6	4,2	4,4
3	3	593,7	603,5	9,8	5,1	4,7
Суспензии №2						
4	1	598,5	606,5	8,0	3,8	4,2
5	2	604,6	614,9	10,3	4,7	5,6
6	3	602,3	613,9	11,6	5,2	6,4
Суспензии №1						
7	1	594,8	604,5	9,7	3,9	5,8
8	2	589,8	602,5	12,7	4,8	7,9
9	3	605,3	619,8	14,5	5,4	9,1

Таблица 2 – Результаты очистки грязевых отложений суспензии с гайки при температуре воды t=40° С и частоте вращения вала лабораторной установки n = 100 мин$^{-1}$

№ п/п	Кол-во погружений гайки в суспензию	Масса гайки,г		Масса загрязнения, г		
		без загрязнения, M_1	с загрязнением, M_2	до мойки, $З_1$	после мойки, $З_2$	удаленного,$З_{уд.}$
Суспензии №3						
1	1	606,0	611,8	5,8	1,5	4,3
2	2	573,4	581,6	8,2	2,6	5,6
3	3	616,1	625,1	9,0	2,9	6,1
Суспензии №2						
4	1	587,4	595,4	8,0	2,7	5,3
5	2	571,3	581,4	10,1	3,1	7,0
6	3	570,8	582,8	12,0	3,8	8,2
Суспензии №1						
7	1	577	586,6	9,6	3,0	6,6
8	2	574,2	585,9	11,7	2,9	8,8
9	3	583,4	597,8	14,4	4,0	10,2

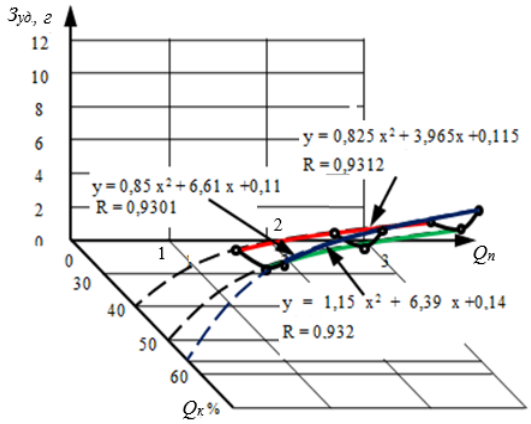


Рис. 4 – Зависимость смываемости загрязнений ($З_{уд.}$) от концентрации песка и глины ($Q_к$) в суспензии и массы осажденной грязевой массы (количества погружений – $Q_п$) при частоте вращения вала установки 60 об/мин и температуре воды 12° С

Fig. 4 – The dependence of the washability of impurities (Itch.) on the concentration of sand and clay (Q_k) in the suspension and the mass of the deposited mud mass (number of dives – Q_p) at a rotational speed of the installation shaft of 60 rpm and a water temperature of 12 ° C

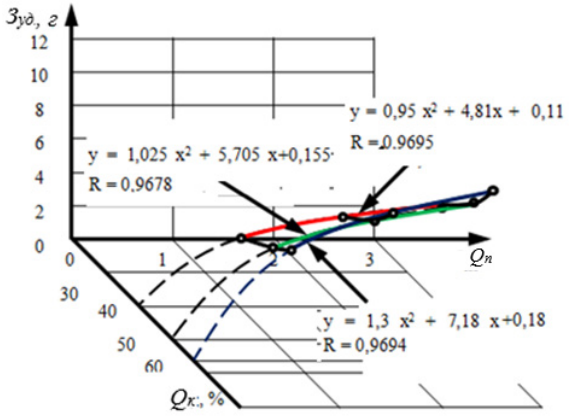


Рис. 5– Зависимость смываемости загрязнений ($З_{уд.}$) от концентрации песка и глины ($Q_к$) в суспензии и массы осажденной грязевой массы (количества погружений – $Q_п$) при частоте вращения вала установки 100 об/мин и температуре воды 40° С

Fig. 5 – The dependence of the washability of impurities (Itch.) on the concentration of sand and clay (Q_k) in the suspension and the mass of the deposited mud mass (number of dives – Q_p) at a rotational speed of the installation shaft of 100 rpm and a water temperature of 40° C

Таблица 3 – Результаты очистки грязевых отложений суспензии с гайки при температуре воды t=60°С и частоте вращения вала лабораторной установки n = 140 мин$^{-1}$

№ п/п	Кол-во погружений гайки в суспензию	Масса гайки,г		Масса загрязнения, г		
		без загрязнения, M_1	с загрязнением, M_2	до мойки, $З_1$	после мойки, $З_2$	удаленного,$З_{уд.}$
Суспензии №3						
1	1	606,1	613,3	7,2	2,2	5,0
2	2	572,3	583,4	11,1	3,1	8,0

Продолжение таблицы 3

3	3	615,2	627,5	12,3	33	9,0
Суспензии №2						
4	1	594,6	603,6	9,0	2,8	7,2
5	2	572,3	585,3	13,0	3,7	9,3
6	3	570,8	585,8	15,0	4,2	10,8
Суспензии №1						
7	1	578,0	589,4	11,4	3,2	8,2
8	2	576,2	590,7	14,5	3,9	10,6
9	3	591,4	607,9	16,5	4,4	12,1

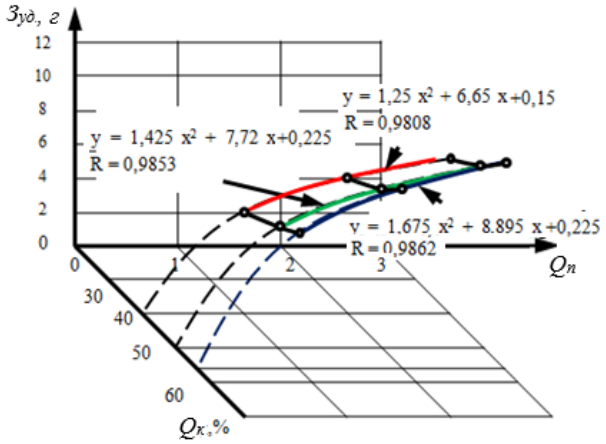


Рис. 6 – Зависимость смываемости загрязнений (Зуд.) от концентрации песка и глины (Qк) в суспензии и массы осажденной грязевой массы (количества погружений – Qп) при частоте вращения вала установки 140 об/мин и температуре воды 60° С

Fig. 6 – The dependence of the washability of impurities (Itch.) on the concentration of sand and clay (Qk) in the suspension and the mass of the deposited mud mass (number of dives – Qp) at a rotational speed of 140 rpm and a water temperature of 60° C

Заключение

По результатам исследования можно сделать вывод, что эффективность удаления грязевых отложений зависит от температуры и интенсивности активации воды, используемой для смыва загрязнений погружным способом, а также состава и массы осажденного на деталь загрязнения. С увеличением температуры воды, частоты вращения вала установки и массы осажденного на деталь загрязнения (количества погружений детали в суспензию) удаление грязевых отложений с поверхности детали возрастает. Повышение концентрации песка и глины в составе суспензии затрудняет процесс удаления загрязнения.

Список источников

1. Бышов, Н.В. Ингибитор коррозии для растворов синтетических технологических средств / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГСХА, 2019. – С. 411-417.

2. Фадеев, И.В. Повышение эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей в сельском хозяйстве: дисс. …доктора техн. наук: 05.20.03 / Фадеев Иван Васильевич. – Рязань, 2019. – 395 с.

3. Киселев, И.С. Экспериментальные исследования по совершенствованию очистных работ колес сельскохозяйственной техники, тракторов и автомобилей / И.С. Киселев, А.И. Королев, Е.В. Пухов // Наука, образование и инновации в современном мире: сб. материалов национальной науч.-практич. конференции. – Воронеж: ВГАУ им. императора Петра I, 2018. – С. 390-393.

4. Козлов, Ю.С. Очистка изделий в машиностроении / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, Н.Ф. Тельнов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

5. Бышов, Н.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мойки деталей [Текст] / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев, Г.А. Александрова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 20-24.

6. Крутоус, Е.Б. Техника мойки изделий в машиностроении / Е.Б. Крутоус, М.И. Некрич. – М.: Машиностроение, 1987. – 239 с.

7. Бышов, Н.В. Влияние величины зазора на скорость щелевой коррозии автотракторной техники / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Цымбал, И.А. Юхин, И.В. Фадеев, Е.В. Митрохина, С.Н. Кулик // Известия Нижневолжского АУК: Наука и высшее профессиональное образование. – № 2 (58). – С. 328-337.

8. Малюгин, С.Г. Совершенствование технологии наружной очистки сельскохозяйственной техники с обоснованием параметров и режимов работы установки водовоздушной мойки: автореф. дисс. …канд. техн. наук: 05.20.01 / Малюгин Сергей Герасимович. – Рязань, 1998. – 24 с.

9. Фадеев, И.В. Растворы на основе амидоборатов для получения магнетитных покрытий / И.В. Фадеев, И.Е. Илларионов, Ш.В. Садетдинов // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы 2-й Республиканской науч.-техн. конф. – Чебоксары, 2016. – С. 52-57.

10. Фадеев, И.В. Аммиак – ингибитор коррозии черных металлов / И.В. Фадеев, В.В. Белов, И.Н. Смолина // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 26. – С. 21-24.

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

References

1. Byshov, N.V. Ingibitor korrozii dlya rastvorov sinteticheskih tekhnologicheskih sredstv / N.V. Byshov, I.V. Fadeev // Perspektivy razvitiya mekhanizacii, elektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy Vserossijskoj nauch.-praktich. konferencii. – Cheboksary: ChGSHA, 2019. – S. 411-417.
2. Fadeev, I.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo processa mojki pri remonte avtomobilej v sel'skom hozyajstve: diss. …doktora tekhn. nauk: 05.20.03 / Fadeev Ivan Vasil'evich. – Ryazan', 2019. – 395 s.
3. Kiselev, I.S. Eksperimental'nye issledovaniya po sovershenstvovaniyu ochistnyh rabot koles sel'skohozyajstvennoj tekhniki, traktorov i avtomobilej / I.S. Kiselev, A.I. Korolev, E.V. Puhov // Nauka, obrazovanie i innovacii v sovremennom mire: sb. materialov nacional'noj nauch.-praktich. konferencii. – Voronezh: VGAU im. imperatora Petra I, 2018. – S. 390-393.
4. Kozlov, Yu.S. Ochistka izdelij v mashinostroenii / Yu.S. Kozlov, O.K. Kuznecov, N.F. Tel'nov. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 264 s.
5. Byshov, N.V. Povyshenie protivokorrozionnyh svojstv rastvorov sinteticheskih moyushchih sredstv dlya mojki detalej [Tekst] / N.V. Byshov, I.V. Fadeev, G.A. Aleksandrova, Sh.V. Sadetdinov // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2019. – № 45. – S. 20-24.
6. Krutous, E.B. Tekhnika mojki izdelij v mashinostroenii / E.B. Krutous, M.I. Nekrich. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 239 s.
7. Byshov, N.V. Vliyanie velichiny zazora na skorost' shchelevoj korrozii avtotraktornoj tekhniki / N.V. Byshov, I.A. Uspenskij, A.A. Cymbal, I.A. Yuhin, I.V. Fadeev, E.V. Mitrohina, S.N. Kulik // Izvestiya Nizhnevolzhskogo AUK: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – № 2 (58). – S. 328-337.
8. Malyugin, S.G. Sovershenstvovanie tekhnologii naruzhnoj ochistki sel'skohozyajstvennoj tekhniki s obosnovaniem parametrov i rezhimov raboty ustanovki vodovozdushnoj mojki: avtoref. diss. …kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Malyugin Sergej Gerasimovich. – Ryazan', 1998. – 24 s.
9. Fadeev, I.V. Rastvory na osnove amidoboratov dlya polucheniya magnetitnyh pokrytij / I.V. Fadeev, I.E. Illarionov, Sh.V. Sadetdinov // Proektirovanie i perspektivnye tekhnologii v mashinostroenii i metallurgii: materialy 2-j Respublikanskoj nauch.-tekhn. konf. – Cheboksary, 2016. – S. 52-57.
10. Fadeev, I.V. Ammiak – ingibitor korrozii chernyh metallov / I.V. Fadeev, V.V. Belov, I.N. Smolina // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2016. – № 26. – S. 21-24.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Храпова Татьяна Евгеньевна, *аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», tat.khrapova2016@yandex.ru.*
Фадеев Иван Васильевич, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технических дисциплин, Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева, ivan-fadeev-2012@mail.ru*
Глинкин Борис Николаевич, *доцент, ФГБОУ ВО Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия, gbn1961@mail.ru.*
Лимаренко Николай Владимирович, *д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», limarenkodstu@yandex.ru*
Мурог Игорь Александрович, *доктор технических наук, профессор*

Author Information

Khrapova Tatyana E., *Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, tat.khrapova2016@yandex.ru.*
Fadeev Ivan V., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Disciplines, I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University, ivan-fadeev-2012@mail.ru*
Glinkin Boris N., *Associate Professor, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia, gbn1961@mail.ru .*
Limrenko Nikolay V., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*
Murog Igor A., *Doctor of Technical Sciences, Professor*

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; одобрена после рецензирования 09.12.2024; принята к публикации 12.12.2024
The article was submitted 12.11.2024; approved after reviewing 09.12.2024; accepted for publication 12.12.2024..

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, № 4, с. 167-175
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, № 4, pp. 167-175

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.511.633.85
DOI: 10.36508/RSATU.2024.93.61.024

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ

Андрей Борисович Чебанов[1]✉, Николай Иванович Стручаев[2], Светлана Викторовна Адамова[3], Юлия Васильевна Чебанова[4]

[1,2,3,4.] ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», Мелитополь, Россия

[1] chebanov-ab@yandex.ru
[2] usun105@ gmail.com
[3] adamova164@yandex.com
[4] Chebanovafeb@gmail.com

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием в сфере научной деятельности в рамках базовой части (фундаментальная наука) по научному проекту № FRRS-2023-0023 «Разработка технологии, экспериментального оборудования технологической линии глубокой переработки семян клещевины в касторовое масло»

Аннотация.
Проблема и цель. *Важной культурой среди всех масличных культур является клещевина, основным продуктом переработки которой является касторовое масло, используемое в химической, электротехнической, медицинской и авиационной промышленности. Качество тех или иных продуктов переработки клещевины в значительной степени зависит от принятой технологии. В технологии переработки клещевины важное место занимает операция обрушивания и разделения рушанки семян клещевины, которая призвана предотвратить попадание в конечный продукт переработки ядовитых веществ, таких как рицин, рицинин и аллерген.*
Методология. *При применении электрофизических способов воздействия на семена клещевины необходимо иметь представление об электрических свойствах лузги и ядра семян клещевины. Так как семена сельскохозяйственных культур относятся к диэлектрикам, относительная диэлектрическая проницаемость и электропроводность будут являться важнейшими электрическими свойствами таких материалов. Знание таких свойств необходимы для разработки устройств, которые будут использовать электрические поля в технологических операциях обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки. Для решения поставленной задачи изготовлена экспериментальная измерительная камера, разработана методика по определению электрических свойств.*
Результаты. *Разработана методика для определения общей диэлектрической проницаемости и удельного объёмного сопротивления компонентов семян клещевины с учетом температуры и влажности исследуемого материала на частотах до 100 кГц. Установлены зависимости удельного объёмного сопротивления ядра и лузги семян клещевины от влажности и температуры исследуемого материала при частоте от 100 Гц до 100 кГц и зависимости общей диэлектрической проницаемости ядра и лузги семян клещевины от влажности и температуры исследуемого материала при температурах T=5-50 º С при частоте от 100 Гц до 100 кГц.*
Заключение. *Полученные данные будут учтены при изучении процессов обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки с использованием электрического поля в таких операциях.*

Ключевые слова: *обрушивание, семена клещевины, рушанка, лузга, ядро, электрофизическое воздействие, переработка клещевины*

Для цитирования: *Чебанов А.Б., Стручаев Н.И., Адамова С.В., Чебанова Ю.В. Исследование электрических свойств компонентов семян клещевины // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024. Т.16, №4. С.167-175 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.93.61.024*

Original article

STUDY OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF THE COMPONENTS OF KLESHCHEVINA SEEDS

Andrey B. Chebanov[1]✉, Nikolay I. Struchaev[2], Svetlana V. Adamova[3], Yulia V. Chebanova[4]

© *Чебанов А.Б., Стручаев Н.И., Адамова С.В., Чебанова Ю. В.,* 2024

[1,2,3,4] Melitopol State University, Melitopol, Russia

[1] chebanov-ab@yandex.ru
[2] usun105@ gmail.com
[3] adamova164@yandex.com
[4] Chebanovafeb@gmail.com

Abstract.
Problem and purpose. *An important crop among all oilseeds is castor oil plant, the main product of which is castor oil, used in the chemical, electrical, medical and aviation industries. The quality of certain products of castor oil plant processing largely depends on the adopted technology. In the technology of castor oil plant processing, an important place is occupied by the operation of hulling and separating the husk of castor oil plant seeds, which is designed to prevent toxic substances such as ricin, ricinine and allergen from entering the final product of processing.*
Methodology. *When using electrophysical methods of influencing castor oil plant seeds, it is necessary to have an idea of the electrical properties of the husk and kernel of castor oil plant seeds. Since the seeds of agricultural crops are dielectrics, the relative permittivity and electrical conductivity will be the most important electrical properties of such materials. Knowledge of such properties is necessary for the development of devices that will use electric fields in technological operations of hulling castor seeds and separating its husk. To solve the problem, an experimental measuring chamber was made, a method for determining electrical properties was developed.*
Results. *A method has been developed for determining the total permittivity and specific volume resistance of castor bean seed components, taking into account the temperature and humidity of the material being studied at frequencies up to 100 kHz. The dependences of the specific volume resistance of the core and husk of castor oil plant seeds on the humidity and temperature of the studied material at a frequency of 100 Hz to 100 kHz and the dependences of the total dielectric constant of the core and husk of castor oil plant seeds on the humidity and temperature of the studied material at temperatures T = 5…50 ^{0}C at a frequency of 100 Hz to 100 kHz were established.*
Conclusion. *The obtained data will be taken into account when studying the processes of castor bean seed hulling and separating its hulls using an electric field in such operations.*
Key words: *hulling, castor beans, husk, kernel, electrophysical impact, castor bean processing*
For citation: *Chebanov A.B., Struchaev N.I., Adamova S.V., Chebanova Yu.V. Study of electrical properties of the components of kleshchevina seeds // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2024. Vol.16, No.4, P. 167-175 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.93.61.024*

Введение

Масличные культуры имеют большое значение для экономики страны, так как являются источником получения ценных продовольственных и технических продуктов. Важной культурой среди всех масличных культур является клещевина, основным продуктом переработки которой является касторовое масло, используемое в химической, электротехнической, медицинской и авиационной промышленности [14].

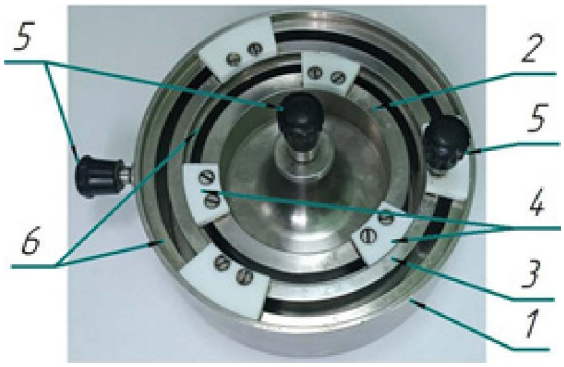
Качество тех или иных продуктов переработки клещевины в значительной степени зависит от принятой технологии. В технологии переработки клещевины важное место занимает операция обрушивания и разделения рушанки семян клещевины, которая должна предотвратить попадание в конечный продукт переработки ядовитых веществ, таких как рицин, рицинин и аллерген [4].

При применении электрофизических способов воздействия на семена клещевины необходимо иметь представление об электрических свойствах [13] компонентов (лузги и ядра) семян клещевины. Так как семена сельскохозяйственных культур относятся к диэлектрикам [9], относительная диэлектрическая проницаемость и электропроводность будут являться важнейшими электрическими свойствами таких материалов. Знание таких свойств необходимы для разработки устройств, которые будут использовать электрические поля в технологических операциях обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки.

Материалы и методы исследования

Исследования электрических свойств проводились в измерительной камере, выполненной по общему подходу, изложенному в ГОСТ 22372-77 и ГОСТ 6433.4-71 [1, 2]. Камера выполнена из трех элементов: потенциальный электрод, измерительный электрод и охранный электрод (рис. 1).

Изоляцию между каждым из электродов обеспечивали фторопластовые вставки 4 (рис. 1). Для этого, в потенциальном 1 и охранном 3 электродах сделаны специальные фаски 5. Измерительный электрод 2 с твердо прикрученными к нему фторопластовыми вставками 4 устанавливался этими вставками 4 в паз 6 охранного электрода 3. Тем самым обеспечивался зазор между измерительным 1 и охранным 2 электродами. Охранный электрод 3 фторопластовыми вставками 4 устанавливался в паз 6 потенциального электрода 1. Таким образом, обеспечивался одинаковый зазор между охранным 3 и потенциальным 1 электродами (рис. 1). Кроме этого, эти же фторопластовые вставки 4 обеспечивали одинаковый зазор 7 (рис. 2) по высоте измерительной камеры между потенциальным электродом 1 и двумя другими электродами (охранным 3 и измерительным 2). При измерениях, зазор 7 (рис. 2) заполняется исследуемым диэлектриком.

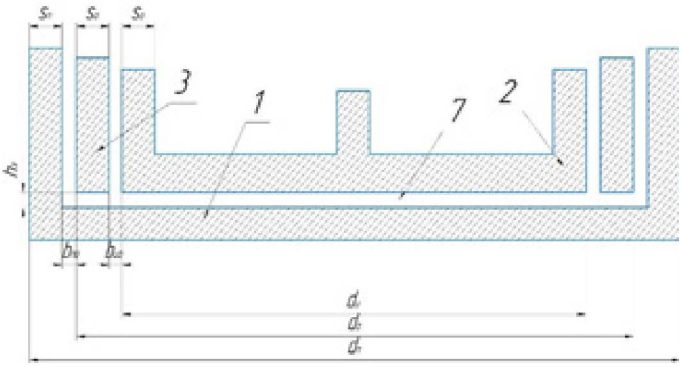


1 – потенциальный электрод, 2 – измерительный электрод, 3 – охранный электрод;
4 – фторопластовые вставки;
5 – клеммы; 6 – паз

Рис. 1 – Общий вид измерительной камеры

1 – potential electrode, 2 – measuring electrode,
3 – guard electrode; 4 – fluoroplastic inserts;
5 – terminals; 6 – groove

Fig. 1 – General view of the measuring chamber



1 – потенциальный электрод;
2 – измерительный электрод; 3 – охранный электрод;
7 – зазор

Рис. 2 – Чертёж (вид сбоку) измерительной камеры

1 – potential electrode, 2 – measuring electrode,
3 – guard electrode; 7 – gap

Fig. 2 – Drawing (side view) of the measuring chamber

Размеры изготовленной измерительной камеры были следующие: внешний диаметр потенциального электрода $d_п$=135 мм; толщина стенки потенциального электрода $s_п$=8 мм; внешний диаметр охранного электрода $d_о$=110,2 мм; толщина стенки охранного электрода $s_о$=8,6 мм; внешний диаметр измерительного электрода $d_и$=86 мм; ширина зазора между потенциальным и охранным электродом $b_{по}$=4,4 мм; ширина зазора между измерительным и охранным электродом $b_{ио}$=3,5 мм; толщина зазора 7 (рис. 2) измерительной камеры составляет $h_з$=2 мм. Дно внутренней полости потенциального электрода (рис. 2) представляет собой плоскость диаметром $d_п$-2$s_п$=119 мм, куда помещается исследуемый материал высотой $h_з$.

При проведении экспериментальных исследований осуществляли независимое варьирование влажности и температуры исследуемого материала.

Для взвешивания исследуемого материала, который помещался в измерительную камеру, а также количества воды, необходимой для последующего его увлажнения, использовали весы типа LCD с ценой деления 0,001 г и максимальным весом взвешивания – 500 г.

Измерение электрических характеристик исследуемого материала на переменном токе производились с помощью измерителя АРРА-703 на частотах 100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц.

Для проведения экспериментальных исследований использовали клещевину сорта Хортицкая 7 [6, 8]. В качестве исходного исследуемого материала использовали измельченную лузгу и ядро семян клещевины. Необходимость в измельчении обосновывалась необходимостью занять весь объём зазора 7 измерительной камеры (рис. 2) исследуемым материалом и исключить наличие воздушных пустот и, тем самым, не допустить погрешности в измерениях.

Начальную влажность исследуемого материала определяли методом сушки проб до постоянного веса в течение 6 часов при температуре 100-105º С [3]. При этом массу воды в исследуемом материале ($g_{вл}$) определяли так [5, 15]:

$$g_{вл}=g-g_{с.вещ} \quad (1)$$

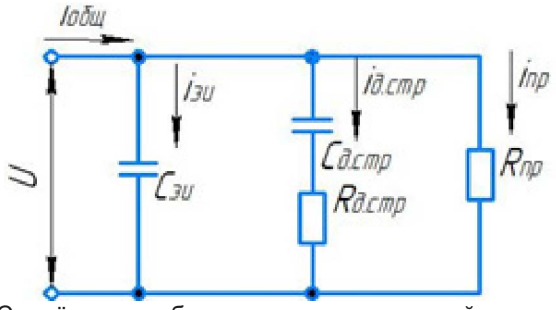
где g – общая масса влажного материала, кг;
$g_{с.вещ}$ – масса сухого вещества, кг.

Тогда, влажность исследуемого материала по отношению к общей массе (в %) определяли так [5, 15]:

$$w = \frac{g_{вл}}{g} \cdot 100. \quad (2)$$

Основными характеристиками, подлежащими определению в экспериментальных исследованиях, являются:

– параметры электрической схемы замещения (рис. 3) исследуемого материала;
– частота переменного тока;
– влажность и температура исследуемого материала.



$C_{эи}$ – ёмкость, обусловленная электронной и ионной поляризацией; $C_{д.стр}$, $R_{д.стр}$ – ёмкость и сопротивление, обусловленное дипольной и структурной поляризацией; $R_{пр}$ – сопротивление току сквозной проводимости

Рис. 3 – Упрощенная эквивалентная электрическая схема замещения для ядра и лузги семян клещевины

C_{ei} – capacitance due to electron and ion polarization; $C_{d.str}$, $R_{d.str}$ – capacitance and resistance due to dipole and structural polarization; R_c – resistance to through conduction current

Fig. 3 – Simplified equivalent electrical circuit for the kernel and husk of castor beans

При определении диэлектрической проницаемости необходимо определять краевую емкость C_e, которая учитывает неоднородность электрического поля на концах электродов измерительной камеры. Такая емкость, с учётом расположения электродов измерительной камеры, определится по формуле [1]:

$$C_e = \pi d_u(0{,}0326\, lg\left(\frac{d_u}{h_з}\right) + +0{,}0326\left(\left(1+\frac{a_u}{h_з}\right) lg\left(1+\frac{a_u}{h_з}\right) - -\frac{a_u}{h_з} lg\left(\frac{a_u}{h_з}\right)\right) + 0{,}0031), \quad (3)$$

где d_u – внешний диаметр измерительного электрода, м;

$h_з$ – высота зазора измерительной камеры, м;

a_u – толщина измерительного электрода, м.

Тогда общая ёмкость образца определится по формуле [1]:

$$C=C_x- C_e, \quad (4)$$

где C_x – общее значение измеренной электрической ёмкости, Ф.

Относительная диэлектрическая проницаемость определится по формуле [1]:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}, \quad , \quad (5)$$

где C_0 – межэлектродная ёмкость в вакууме, Ф.

Так как с ростом частоты электрического поля относительная диэлектрическая проницаемость полярных жидкостей (таких как вода) снижается до значений, определяемых электронной поляризацией [12], то исследования по определению относительной диэлектрической проницаемости будут производиться на максимальной частоте прибора 100 кГц.

Методика проведения испытаний по определению относительной диэлектрической проницаемости ε ядра или лузги семян клещевины заключалась в следующем:

1. Измельчённое ядро или лузгу взвешивали на весах до третьего знака после запятой.

2. Взвешенное измельченное ядро или лузгу размещали равномерно на дне потенциального электрода (рис. 1). Устанавливали охранный электрод фторопластовыми прокладками до упора в паз потенциального электрода (рис. 1). Чтобы обеспечить упор фторопластовых прокладок об паз потенциального электрода, выполняли прокручивание охранного электрода. В результате этого лишнее измельченное ядро распределялось в зазоре 7 (рис. 2). Затем устанавливали измерительный электрод фторопластовыми прокладками до упора в паз охранного электрода (рис. 1).

3. Подключали клеммы электродов измерительной камеры к измерителю АРРА-703. Измеритель АРРА-703 не позволяет подключение охранного электрода, поэтому подключение выполнялось к потенциальному и измерительному электродам. Стандартами [1, 2] такая схема подключения предусмотрена. При этом, выполняя измерения, поверхностной проводимостью образца пренебрегали.

Измерения производились в соответствии с руководством по эксплуатации прибора [7]. При заданной частоте измеряли электрическую ёмкость C_x. Каждый опыт проводился с трехкратной повторяемостью.

4. Такие же измерения (по пунктам 2 и 3) повторяли для других влажностей измельченного ядра и другой его температуры.

Увлажнения ядра или лузги до заданной влажности производили по следующему принципу. Рассчитывали массу воды, которая необходима для увлажнения материала с влажности w_1 до влажности w_2 по формуле:

$$\Delta g_{вл} = g_1 \frac{w_2 - w_1}{100 - w_1}, \quad (6)$$

где g_1 – масса исследуемого материала с влажностью w_1, г;

w_1 – начальная влажность материала, %;

w_2 – конечная влажность материала, %.

Рассчитанную массу воды набирали шприцем и взвешивали на весах. После это количество воды шприцем добавляли в исследуемое измельченное ядро и тщательно перемешивали.

Температуру исследуемого материала устанавливали путем изменения температуры в помещении, где проводились экспериментальные исследования с последующей стабилизацией температуры измерительной камеры с исследуемым материалом на протяжении 8-10 часов.

Дальнейшие измерения производили по пунктам 2 и 3 данной методики.

5. Уточненную общую ёмкость C и относительную диэлектрическую проницаемость исследуемого материала с учётом краевых эффектов рассчитывали по формулам (4, 5).

При определении электропроводимости лузги и ядра семян клещевины исходили из того, что в прикладных целях эту величину можно характеризовать величиной обратной электропроводимости по физическому смыслу, а именно удельным объемным электрическим сопротивлением ρ_v [10]:

$$\rho_v = \frac{R \cdot S}{d}, \quad (7)$$

где R – объемное сопротивление исследуемого образца, Ом;

d – толщина образца, м;

S – площадь поперечного сечения, м².

Отношение $\frac{S}{d}$ можно определить из формулы по определению ёмкости плоского конденсатора [11]:

$$\frac{S}{d} = \frac{C}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (8)$$

где ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, $\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м [10];

ε – относительная диэлектрическая проницаемость, о.е.

Объемное сопротивление можно определить

из схемы замещения (рис. 3) с учетом того, что при низких частотах присуще большее влияние дипольной и структурной поляризаций:

$$R = \frac{1}{\frac{R_{д.стр}}{R_{д.стр}^2+\left(\frac{1}{\omega C_{д.стр}}\right)^2}+\frac{1}{R_{пр}}}, \quad (9)$$

где $\omega = 2\pi f$ рад/с.

Общее активное сопротивление дипольной и структурной поляризаций определится по формуле:

$$R_{д.стр} = \frac{\frac{\omega_1^2}{\Delta_1}-\frac{\omega_2^2}{\Delta_2}}{(\omega_1^2-\omega_2^2)}. \quad (10)$$

где $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega_2 = 2\pi f_2$ – угловая частота при соответствующих частотах сети f_1 и f_2, рад/с.

$$\Delta_1 = \frac{1}{R_{изм1}} - \frac{1}{R_{пр}}; \Delta_2 = \frac{1}{R_{изм2}} - \frac{1}{R_{пр}}.$$

где $R_{изм1}$ $R_{изм2}$ – измеренное активное сопротивление измерителем АРРА-703, Ом.

Емкость структурной и дипольной поляризации определили:

$$C_{д.стр} = \sqrt{\frac{\Delta_1(\omega_1{}^2-\omega_2{}^2)^2}{\omega_1{}^2(\omega_1{}^2-\omega_2{}^2)\left(\frac{\omega_1{}^2}{\Delta_1}-\frac{\omega_2{}^2}{\Delta_2}\right)-\Delta_1\omega_1{}^2\left(\frac{\omega_1{}^2}{\Delta_1}-\frac{\omega_2{}^2}{\Delta_2}\right)^2}}. \quad (11)$$

Для определения сопротивления току сквозной проводимости $R_{пр}$ использовали электрическую схему подключения измерительной ячейки на постоянном токе (рис. 4) с соответствующими измерительными приборами.

Методика измерения следующая:

1. Обеспечивали необходимую влажность и температуру ядра и лузги семян клещевины в соответствии с пунктом 4 методики по определению относительной диэлектрической проницаемости.
2. После подачи напряжения на измерительную ячейку 1, подключенную по схеме (рис. 4), фиксировали значение сопротивления на постоянном токе $R_{пр}$.
3. Измерительная камера подключалась к измерителю АРРА-703. На каждой частоте измеряли активное сопротивление $R_{изм}$. Производился расчет $C_{д.стр}$, $R_{д.стр}$, R.
4. Все вышеприведенные измерения для измельченного ядра и лузги семян клещевины повторялись при разной влажности и температуре исследуемого материала.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований были получены зависимости:

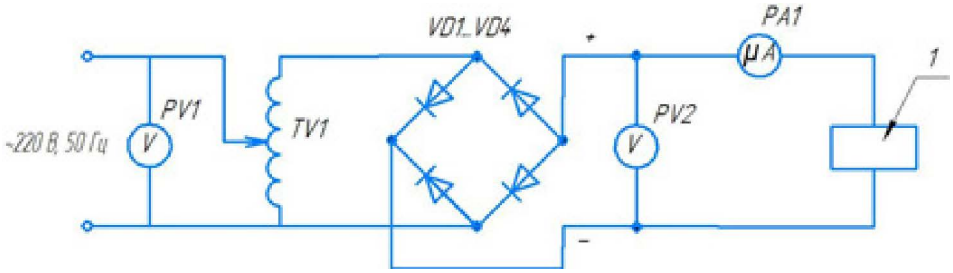
– общего удельного объёмного сопротивления ядра и лузги семян клещевины от влажности исследуемого материала при температурах T=5-50º С и частоте сети f=100 Гц (рис. 5 и рис. 6);

– общего удельного объёмного сопротивления ядра и лузги семян клещевины от температуры исследуемого материала при различной его влажности и частоте сети f=100 Гц (рис. 7 и рис. 8);

– общей диэлектрической проницаемости ядра и лузги семян клещевины от влажности исследуемого материала при температурах T=5-50º С и частоте сети f=100 кГц (рис. 9 и рис. 10);

– общей диэлектрической проницаемости ядра и лузги семян клещевины от температуры исследуемого материала при различной его влажности и частоте сети f=100 кГц (рис. 11 и рис. 12).

Для наглядности значения удельного объемного сопротивления представлены в логарифмической шкале вследствие значительного изменения их от влажности (рис. 5 - 8).



1– измерительная ячейка; PV1 – вольтметр контроля напряжения сети; PV2 и PA1 – соответственно вольтметр Э59 и микроамперметр М4207, подключенные в цепи измерительной ячейки; TV1 – лабораторный автотрансформатор; VD1-VD4 – выпрямительный мост

Рис. 4 – Электрическая схема для измерения сопротивления постоянному току исследуемого материала

1 – measuring cell; PV1 – voltmeter for monitoring network voltage; PV2 and PA1 – voltmeter E59 and microammeter M4207, respectively,
connected to the measuring cell circuit;
TV1 – laboratory autotransformer; VD1…VD4 – ctifier bridge

Fig. 4 – Electrical circuit for measuring the DC resistance of the test material

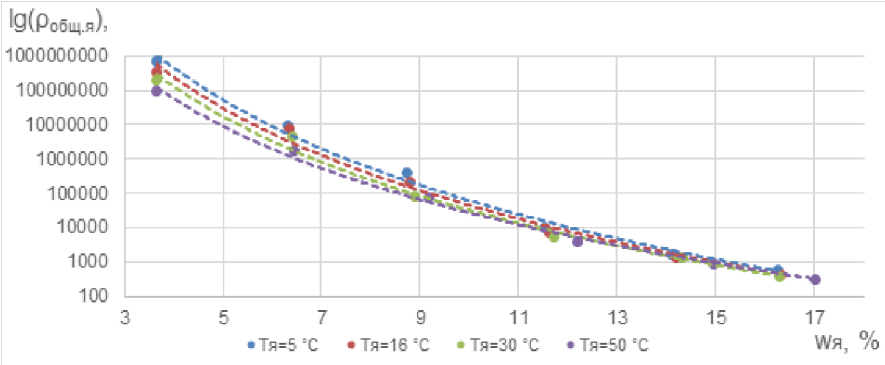


Рис. 5 – Зависимость общего удельного объёмного сопротивления ядра lg($\rho_{общ.я}$), от его влажности wя, % при $T_я$=5º С, $T_я$=16º С, $T_я$=30º С, $T_я$=50º С в логарифмической шкале

Fig. 5 – Dependence of the total specific volume resistance of the core lg(ρtotal.c), on its humidity wc, % at T_c=5º C, T_c=16º C, T_c=30º C, T_c=50º C on a garithmic scale

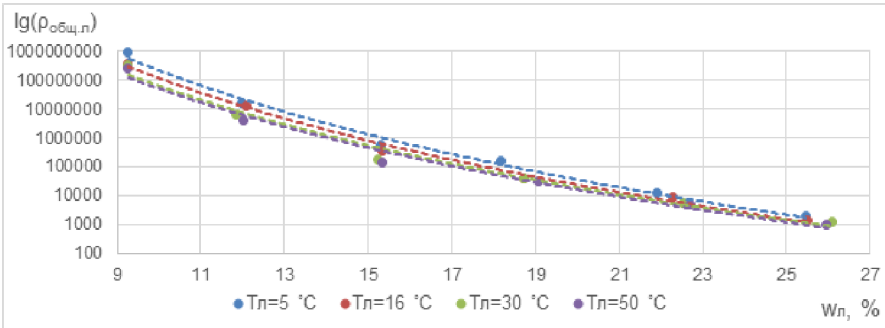


Рис. 6 – Зависимость общего удельного объёмного сопротивления лузги lg($\rho_{общ.л}$) от её влажности wл, % при $T_л$=5º С, $T_л$=16º С, $T_л$=30º С, $T_л$=50º С и частоте сети f=100 Гц в логарифмической шкале

Fig. 6 – Dependence of the total specific volume resistance of the husk lg(ρtotal.h) on its moisture content wh, % at T_h=5º C, T_h=16º C, T_h=30º C, T_h=50º C and network frequency f=100 Hz on a logarithmic scale

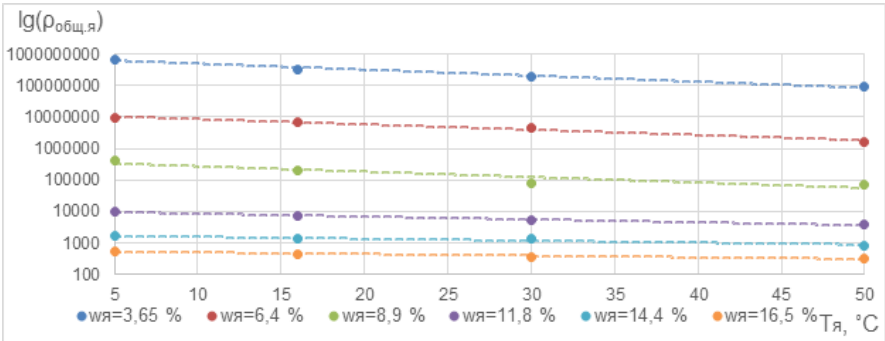


Рис. 7 – Зависимость общего удельного объёмного сопротивления ядра lg($\rho_{общ.я}$) от его температуры $T_я$,º С при $w_я$=3,65 %, $w_я$=6,4 %, $w_я$=8,9 %, $w_я$=11,8 %, $w_я$=14,4 %, $w_я$=16,5 % и частоте сети f=100 Гц в логарифмической шкале

Fig. 7 – Dependence of the total specific volume resistance of the core lg($\rho_{total.c}$) on its temperature T_c,º C at w_c=3,65 %, w_c=6,4 %, w_c=8,9 %, w_c=11,8 %, w_c=14,4 %, w_c=16,5 % and network frequency f=100 Hz on a logarithmic scale

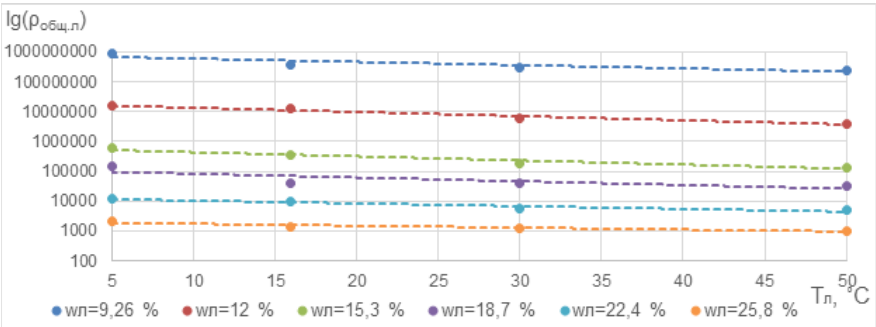


Рис. 8 – Зависимость общего удельного объёмного сопротивления лузги lg($\rho_{общ.л}$) от её температуры $T_л$,º С при $w_л$=9,26 %, $w_л$=12 %, $w_л$=15,3 %, $w_л$=18,7 %, $w_л$=22,4 %, $w_л$=25,8 % и частоте сети f=100 Гц в логарифмической шкале

Fig. 8 – Dependence of the total specific volume resistance of the husk lg($\rho_{total.h}$) on its temperature Th,º C at w_h=9,26 %, w_h=12 %, w_h=15,3 %, w_h=18,7 %, w_h=22,4 %, w_h=25,8 % and network frequency f=100 Hz on a logarithmic scale

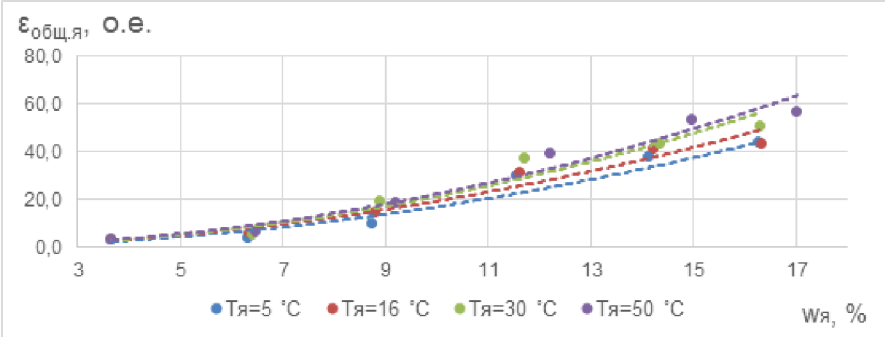


Рис. 9 – Зависимость общей диэлектрической проницаемости ядра $\varepsilon_{общ.я}$, от его влажности $w_я$, % при $T_я$=5º С, $T_я$=16º С, $T_я$=30º С, $T_я$=50º С и частоте сети f=100 кГц

Fig. 9 – Dependence of the total dielectric constant of the core $\varepsilon_{total.c}$, on its humidity wc, % at T_c=5º C, T_c=16º C, T_c=30º C, T_c=50º C and network frequency f=100 kHz

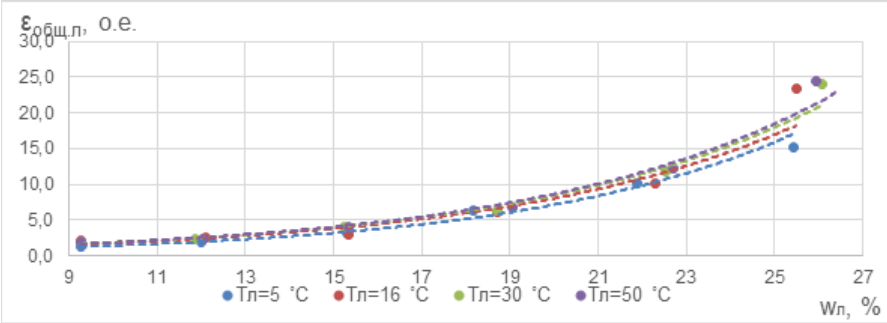


Рис. 10 – Зависимость общей диэлектрической проницаемости лузги $\varepsilon_{общ.л}$, от её влажности wл, % при $T_л$=5º С, $T_л$=16º С, $T_л$=30º С, $T_л$=50º С и частоте сети f=100 кГц

Fig. 10 – Dependence of the total dielectric constant of the husk εtotal.h on its moisture content wh, % at T_h=5º C, T_h=16º C, T_h=30º C, T_h=50º C and network frequency f=100 kHz

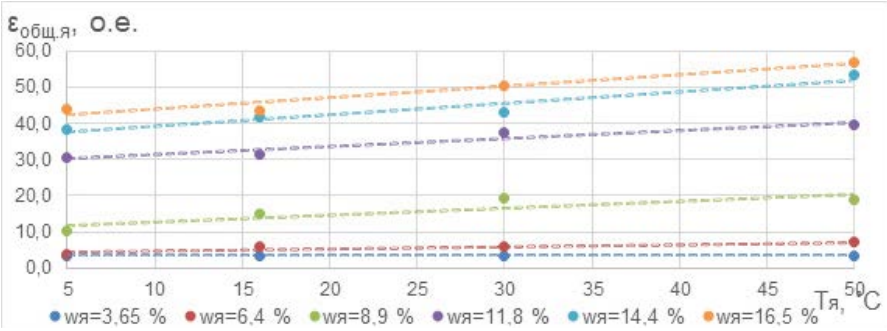


Рис. 11 – Зависимость общей диэлектрической проницаемости ядра $\varepsilon_{общ.я}$ от его температуры $T_я$,º С при $w_я$=3,65 %, $w_я$=6,4 %, $w_я$=8,9 %, $w_я$=11,8 %, $w_я$=14,4 %, $w_я$=16,5 % и частоте сети f=100 кГц

Fig. 11 – Dependence of the total dielectric constant of the core $\varepsilon_{total.c}$ on its temperature T_c,º C at w_c=3,65 %, w_c=6,4 %, w_c=8,9 %, w_c=11,8 %, w_c=14,4 %, w_c=16,5 % and network frequency f=100 kHz

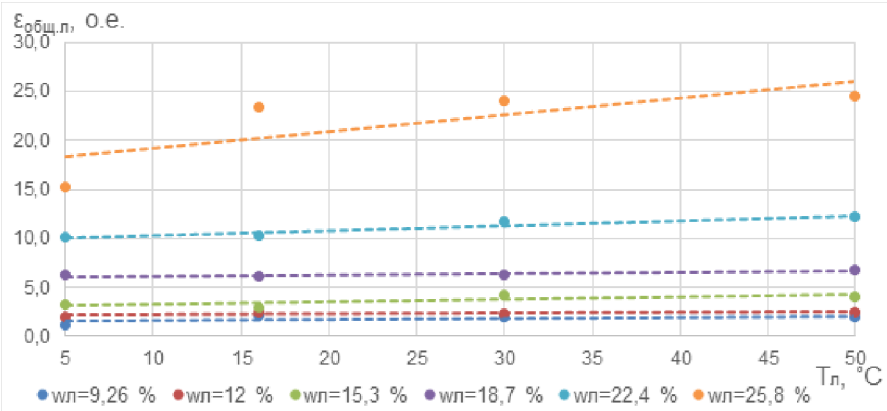


Рис. 12 – Зависимость общей диэлектрической проницаемости лузги $\varepsilon_{общ.л}$ от её температуры $T_л$,º С при $w_л$=9,26 %, $w_л$=12 %, $w_л$=15,3 %, $w_л$=18,7 %, $w_л$=22,4 %, $w_л$=25,8 % и частоте сети f=100 кГц

Fig. 12 – Dependence of the total dielectric constant of the husk $\varepsilon_{total.h}$ on its temperature T_h,º C at w_h=9,26 %, w_h=12 %, w_h=15,3 %, w_h=18,7 %, w_h=22,4 %, w_h=25,8 % and network frequency f=100 kHz

Анализом зависимостей (рис. 5) установлено, что с увеличением влажности ядра $w_я$ от 3,7 % до 16,3 %, удельное объёмное сопротивление снижается при любой температуре от $lg(\rho_{общ.я})=10^9$ до $lg(\rho_{общ.я})=500$. С увеличением влажности лузги wл от 9,3 % до 25,5 % (рис. 6) удельное объёмное сопротивление снижается при любой температуре от $lg(\rho общ.л)=10^9$ до $lg(\rho_{общ.л})=10^3$. Это связано с тем, что вода обладает значительной электропроводностью 10^{-3}-10^{-4} $Ом^{-1}\cdot м^{-1}$ и высокой относительной диэлектрической проницаемостью (ε′=81). Кроме того, в воде легко диссоциируют молекулы многих других веществ, что существенно увеличивает число свободных носителей заряда и, следовательно, повышает проводимость материалов.

Анализом зависимостей (рис. 7 и рис. 8) установлено, что с увеличением температуры уменьшается удельное объёмное сопротивление при любой влажности исследуемого материала, что связано с увеличением тепловых флуктуаций частиц вследствие повышения их тепловой энергии. Тепловые флуктуации приводят к диссоциации некоторых молекул или вырыванию слабозакрепленных ионов из узлов решетки. Диссоциация молекул легче происходит в полярных жидкостях (таких как вода), чем в неполярных, в результате чего увеличивается влияние роста температуры на изменение удельного объёмного сопротивления с увеличением влажности лузги и ядра семян клещевины.

Анализом зависимостей (рис. 9) установлено, что с увеличением влажности ядра $w_я$ от 3,7 % до 16,3 %, общая диэлектрическая проницаемость увеличивается от $\varepsilon_{общ.я}$ = 3,5 до $\varepsilon_{общ.я}$ = 57. С увеличением влажности лузги wл от 9,3 % до 25,5 % (рис. 10), общая диэлектрическая проницаемость увеличивается от $\varepsilon_{общ.л}$ = 1,2 до $\varepsilon_{общ.л}$ = 24,5.Такая тенденция объясняется увеличением количества полярной жидкости в общей структуре диэлектрика.

Анализом зависимостей (рис. 11 и рис. 12) установлено, что при небольших влажностях ядра и лузги семян клещевины температура исследуемого материала не влияет на диэлектрическую проницаемость. Однако с увеличением влажности лузги и семян клещевины при увеличении температуры увеличивается и диэлектрическая проницаемость. Это объясняется тем, что с увеличением температуры уменьшается вязкость диэлектрика, поэтому полярным молекулам проще ориентироваться в направлении внешнего электрического поля, что и приводит к увеличению диэлектрической проницаемости.

Заключение

1. Разработана методика для определения общей диэлектрической проницаемости и удельного объёмного сопротивления компонентов семян клещевины с учетом температуры и влажности исследуемого материала на частотах до 100 кГц. Полученная методика может быть использована при определении электрических свойств других сельскохозяйственных культур.

2. Установлены зависимости удельного объёмного сопротивления ядра и лузги семян клещевины от влажности и температуры исследуемого материала при частоте от 100 Гц до 100 кГц и общей диэлектрической проницаемости ядра и лузги семян клещевины от влажности и температуры исследуемого материала при температурах T=5-50º С при частоте от 100 Гц до 100 кГц. Полученные данные будут учтены при изучении процессов обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки с использованием электрического поля в таких операциях на частотах до 100 кГц.

Список источников

1. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5·105 Гц. [Текст]. - 1977. – М.: Издательство стандартов. - 17 с.

2. ГОСТ 6433.4-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости при частоте 50 Гц. [Текст]. - 1971. – М.: Издательство стандартов. - 15 с.

3. ГОСТ 5947-68. Семена хлопчатника. Технические условия. [Текст]. - 1968. - М.: Стандартинформ. - 22 с.

4. Дідур В. А., Чебанов А. Б. Методика визначення концентрації пилу в повітрі робочої зони при обрушенні насіння рицини // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2009. - Т. 2. - №. 9. - С. 169-175.

5. Дідур В.В., Чебанов А. Б., Асеєв А. А., Шарій А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння рицини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. - 2016. - Вип. 254. - С.278-286.

6. Жаркова Г. Огляд нових сортів та гібридів олійних культур. Пропозиція. - 2002. - № 11. - С. 40-42.

7. Измерители RLC APPA701, APPA 703. Руководство по эксплуатации. - 2018. - Харьков: Эталон-Прибор. – 34 с.

8. Клещевина / под ред. В. А. Мошкина. – М.: Колос - 1980. - 352 с.

9. Лавров И. М., Шмигель В. Н. О механизме заряжения семян в электростатическом поле // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1983. - Вып. 12. - С. 42-43.

10. Ляпин В.Г. Исследование электрических свойств растительной ткани в электромагнитном поле // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ – 2008. - № 4. - С. 14-16.

11. Поплавко Ю.М. Физика диэлектриков: учеб. пособие для вузов. – 1980. - К.: Вища школа – 400 с.

12. Фрёлих Г. Теория Диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. Перевод со второго английского издания проф. Г.И. Сканави. -1960. - М.: Издательство иностранной литературы. - 251 с.

13. Шмигель В. И., Козлов А. С. Удаление семян пшеницы из ячеистой поверхности при наложении электростатического поля // Послеуборочная обработка зерновых культур. - 1972. - ЧИМЭСХ. - Вып. 69. - С. 139-144.

14. Didur V., Kyurchev V., Chebanov A., Aseev A. Increasing the efficiency of the technological process of processing castor-oil seeds into castor oil. Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. P.17-28 doi: 10.1007/978-3-030-14918-5_3

15. Didur V., Chebanov A., Didur V., Aseev A. Foundation of operating practices of seed meal moisture and heat treatment on oil extraction from castor beans. Journal of Agriculture and Environment. 2017. Vol 1. № 1. P.9-15.

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

References

1. GOST 22372-77. Materialy dijelektricheskie. Metody opredelenija dijelektricheskoj pronicaemosti i tangensa ugla dijelektricheskih poter' v diapazone chastot ot 100 do 5·105 Gc. [Tekst]. – 1977. - M.: Izdatel'stvo standartov. - 17 s.
2. GOST 6433.4-71. Materialy jelektroizoljacionnye tverdye. Metody opredelenija tangensa ugla dijelektricheskih poter' i dijelektricheskoj pronicaemosti pri chastote 50 Gc. [Tekst]. - 1971. - M.: Izdatel'stvo standartov. -15 s.
3. GOST 5947-68. Semena hlopchatnika. Tehnicheskie uslovija. [Tekst]. - 1968. - M.: Standartinform. - 22 s.
4. Didur V. A., Chebanov A. B. Metodika viznachennja koncentracії pilu v povitri robochoї zoni pri obrushenni nasinnja ricini // Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu. – 2009. - T. 2. - №. 9. - S. 169-175. (in Ukr.).
5. Didur V.V., Chebanov A. B., Aseєv A. A., Sharij A. V. Termodinamichni harakteristiki elementiv nasinnja ricini. Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannja Ukraїni. Serija: tehnika ta energetika APK. - 2016. - Vyp. 254. - S. 278-286. (in Ukr.).
6. Zharkova G.P. Ogljad novih sortiv ta gibridiv olijnih kul'tur. Propozicija. - 2002. - № 11. S. - 40-42. (in Ukr.).
7. Izmeriteli RLC ARRA701, ARRA 703. Rukovodstvo po jekspluatacii. - 2018. - Har'kov: Jetalon-Pribor. – 34 s.
8. Kleshhevina / pod red. V. A. Moshkina. – M.: Kolos - 1980. - 352 s.
9. Lavrov I. M., Shmigel' V. N. O mehanizme zarjazhenija semjan v jelektrostaticheskom pole // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. - 1983. - Vyp. 12. - S. 42-43.
10. Ljapin V.G. Issledovanie jelektricheskih svojstv rastitel'noj tkani v jelektromagnitnom pole // Vestnik FGOU VPO MGAU – 2008. - № 4. - S. 14-16.
11. Poplavko Ju.M. Fizika dijelektrikov: ucheb. posobie dlja vuzov. – 1980. - K.: Vishha shkola – 400 s.
12. Frjolih G. Teorija Dijelektrikov. Dijelektricheskaja pronicaemost' i dijelektricheskie poteri. Perevod so vtorogo anglijskogo izdanija prof. G.I. Skanavi. -1960. - M.: Izdatel'stvo inostrannoj literatury. - 251 s.
13. Shmigel' V. I., Kozlov A. S. Udalenie semjan pshenicy iz jacheistoj poverhnosti pri nalozhenii jelektrostaticheskogo polja // Posleuborochnaja obrabotka zernovyh kul'tur. - 1972. - ChIMJeSH - Vyp. 69. - S. 139-144.
14. Didur V., Kyurchev V., Chebanov A., Aseev A. Increasing the efficiency of the technological process of processing castor-oil seeds into castor oil. Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. P.17-28 doi: 10.1007/978-3-030-14918-5_3
15. Didur V., Chebanov A., Didur V., Aseev A. Foundation of operating practices of seed meal moisture and heat treatment on oil extraction from castor beans. Journal of Agriculture and Environment. 2017. Vol 1. № 1. P.9-15.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Чебанов Андрей Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», chebanov-ab@yandex.ru
Стручаев Николай Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет, usun105@gmail.com
Адамова Светлана Викторовна, ст. препод. кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет, adamova164@yandex.ru
Чебанова Юлия Васильевна, канд. географ. наук, доцент кафедры растениеводства имени профессора В.В. Калитки, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет, Chebanovafeb@gmail.com

Author Information

Chebanov Andrey B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, chebanov-ab@yandex.ru
Struchaev Nikolay I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, usun105@gmail.com
Adamova Svetlana V., Senior Lecturer of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, adamova164@yandex.ru
Chebanova Yulia V., Candidate of Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Science named after Professor V.V. Kalitki, Melitopol State University, Chebanovafeb@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11.10.2024; одобрена после рецензирования 24.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.
The article was submitted 11.10.2024; approved after reviewing 24.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 176-182
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 176-182

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 31.363.258/638.171
DOI: 10.36508/RSATU.2024.78.36.025

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ

Александр Владимирович Шемякин[1], Дмитрий Евгеньевич Каширин[2]✉, Алексей Николаевич Алексеев[3], Виктор Вячеславович Павлов[4], Дмитрий Владимирович Куракин[5]

[1,2,3,4,5] ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

[1] university@rgatu.ru
[2] kadm76@mail.ru
[3] qwe20qw@mail.ru
[4] pavlov.rgatu@mail.ru
[5] kurakind@internet.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Пчелиный воск является необходимым сырьем для промышленного пчеловодства, так как из него производят вощину. Отбираемая из ульев сушь в осенний период, как правило, сильно загрязнена перговыми комочками и ульевым сором, которые при перетопке впитывают часть жидкого воска, а также частично растворяются в нем. Поэтому количество извлекаемого воска в значительной мере зависит от степени загрязненности воскового сырья. Очистка суши сотов перед переработкой может значительно повысить качество продукта и уменьшить количество присутствующих в нем загрязнений. В связи с вышесказанным исследуется возможность очистки воскового сырья от органических загрязнений. Цель исследования заключается в определении некоторых физико-механических свойств воска и его органических загрязнителей, количественные сведения о которых необходимы для разработки оборудования и устройств, предназначенных для предварительной очистки воскового сырья перед перетопкой.*
Методология. *Для разработки оборудования необходимо определить некоторые физико-механических свойств воска и его загрязнителей и исследовать их зависимость от влажности и температуры. В качестве целевых наиболее важных показателей выбраны коэффициент статического трения специально подготовленных проб органических загрязнений (нативной перги) по поверхности из пищевой нержавеющей стали, а также удельная величина силы адгезии органических загрязнений суши сотов.*
Результаты. *Получены математические модели, описывающие зависимость удельной силы адгезии и величины коэффициента трения в зависимости от влажности и температуры.*
Заключение. Анализ результатов проведенного исследования показал, что влажность оказывает наиболее значительное влияние на физико-механические свойства органических загрязнений воскового сырья, при этом температура имеет менее выраженное воздействие. Статический коэффициент трения обнаруживает выраженный минимум при влажности 15-16 % в диапазоне температур от 0° С до +20° С.

Ключевые слова: *воск, восковое сырье, органические загрязнения, перга*
Для цитирования: *Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В. Исследование физико-механических свойств органических загрязнений воскового сырья // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.176-182 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.78.36.025*

© Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В., 2024

Original article

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WAX RAW MATERIALS ORGANIC CONTAMINANTS

Alexander V. Shemyakin[1], Dmitry E. Kashirin[2] ✉, Aleksej N. Alekseev [3], Viktor V. Pavlov[4], Dmitrij V. Kurakin[5]

[1,2,3,4,5] Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1] university@rgatu.ru
[2] kadm76@mail.ru
[3] qwe20qw@mail.ru
[4] pavlov.rgatu@mail.ru
[5] kurakind@internet.ru

Abstract.
Problem and purpose. *Beeswax is a necessary raw material for industrial beekeeping, since it is used to produce wax foundation. The dry bee honey collected from the hives in the autumn is usually heavily contaminated with pollen lumps and hive debris, which absorb part of the liquid wax during melting and also partially dissolve in it. Therefore, the amount of wax extracted largely depends on the degree of contamination of the wax raw material. Cleaning the dry bee honeycombs before processing can significantly improve the quality of the product and reduce the amount of contaminants present in it. In connection with the above, the possibility of cleaning the wax raw material from organic contaminants is studied. The purpose of the study is to determine some physical and mechanical properties of wax and its organic contaminants, quantitative information on which is necessary for the development of equipment and devices intended for preliminary cleaning of wax raw materials before melting.*
Methodology. *To develop the equipment, it is necessary to determine some physical and mechanical properties of wax and its contaminants and study their dependence on humidity and temperature. The most important target indicators were the coefficient of static friction of specially prepared samples of organic contaminants (native bee bread) on the surface of food grade stainless steel, as well as the specific value of the adhesion force of organic contaminants of honeycombs.*
Results. *Mathematical models were obtained that describe the dependence of the specific adhesion force and the value of the friction coefficient on humidity and temperature.*
Conclusion. *The analysis of the results of the study showed that humidity has the most significant effect on the physical and mechanical properties of organic contaminants of wax raw materials, while temperature has a less pronounced effect. The static friction coefficient shows a clear minimum at a humidity of 15-16% in the temperature range from 0° C to + 20° C.*

Key words: *wax, wax raw materials, organic contaminants, bee bread.*
For citation: *Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Alekseev A.N., Pavlov V.V., Kurakin D.V. Study of physical and mechanical properties of wax raw materials organic contaminants // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, Vol.16, No.4, P.176-182 https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.78.36.025*

Введение

Воск является продуктом биохимического синтеза, так как образуется в организме пчелы благодаря работе специальных желез. Состав пчелиного воска весьма обширен – он насчитывает более 450 различных сложных химических соединений, поэтому заменить его искусственным аналогом не представляется возможным [1, 2, 3]. Этот продукт пчелы вырабатывают для строительства сотов, заделки щелей в улье, изготовления крышечек восковых ячеек и т.д.

Основным потребителем воска является сама отрасль пчеловодства, так как из воска изготавливают искусственную вощину, в связи с этим воск является «сырьем», необходимым для промышленного развития отрасли [4-7]. Воск широко распространен в парфюмерной промышленности как связующая основа, в пищевой индустрии для консервации продуктов, а также в фармацевтике как компонент лекарственных препаратов, которые используют при лечении целого ряда известных заболеваний [8, 9].

В настоящее время воск получают путём термической переработки (перетопки) старых выбракованных пчелиных сотов – суши сотов [10-14]. Старые выбракованные соты сильно загрязнены органическими веществами и ульевым сором. Соотношение количества воска и загрязнений в сотах иногда достигает 1:5.

Известно, что органические загрязнения весьма гигроскопичны, кроме того, они физически связываются с расплавленным воском во время перетопки и не позволяют извлекать его из сырья в полном объеме [15-18]. Таким образом, в результате перетопки удается извлечь небольшую долю продукта из сырья, большая его часть теряется вместе с образующимися отходами – вытопками и мервой.

Предварительно проведенные исследования показывают, что при перетопке сырья, содержащего небольшое количество загрязнений или практически чистого, выход воска значительно больше. В связи с вышесказанным, нами ведется разработка технологии, позволяющей проводить очистку воскового сырья (суши сотов) перед тепловой переработкой.

Цель исследований заключается в определении некоторых физико-механических свойств воска и его органических загрязнителей.

Материалы и методы исследований

Поскольку основным органическим загрязнителем воскового сырья является нативная перга, было решено исследовать ее некоторые физико-механические свойства, в частности:

– коэффициент статического трения по поверхности из пищевой нержавеющей стали;

– удельное значение адгезии;

– свойства, характеризующие прочностные показатели.

Физико-механические свойства так называемой нативной пчелиной перги имеют чрезвычайную лабильность, а при низкой влажности, когда появляются выраженные прочностные свойства, обнаруживается явная анизотропия.

Для измерения статического трения по поверхности из пищевой нержавеющей стали использовали специально изготовленное приспособление, представляющее собой стальную прямоугольную полосу размером 200×400 мм. Пластину располагали на горизонтальной поверхности стола, снабженной транспортиром. При подъеме одного края пластины можно было измерять угол ее наклона. Величину статического коэффициента трения f определяли по формуле:

$$f = \tan y \qquad (1)$$

где y – угол наклона пластины относительно горизонтальной поверхности.

Эксперимент проводили при различных значениях температуры: 0° С, +20° С. Влажность испытуемого продукта составляла: 13 %, 15 %, 17 %, 19 %, 21 %, 23 %.

У свежего продукта определяли величину влажности по требованиям ГОСТа, после чего принимали решение о количестве добавляемой воды, либо проведении дополнительной сушки с целью получения исследуемых проб продукта, имеющих необходимую величину влажности.

Количество воды, которое надо добавить к исследуемой пробе, определяли по формуле:

$$M = B\left(\frac{W_K - W_H}{100 - W_K}\right), \qquad (2)$$

где B – вес пробы исследуемого продукта до испытания, кг;

W_H – влажность «свежего» продукта, извлеченного из суши сотов (начальная относительная влажность), %;

W_K – величина влажности продукта, требуемая для испытания (конечная относительная влажность), %.

Опыты проводили следующим образом. Заранее подготовленные пробы продукта известной влажности выдерживали при заданной температуре на протяжении двух часов вместе с предварительно очищенной пластиной из пищевой стали, после чего пробу размещали равномерным слоем на поверхности испытуемого устройства, затем один край пластины поднимали до тех пор, пока продукт не приходил в движение. Величину критического угла фиксировали. Испытания выполняли с трехкратной повторностью.

По окончании выполнения опыта проводили статистическую обработку полученных экспериментальных результатов.

Следующий этап исследования предполагал определение удельной величины силы адгезии органических загрязнений суши сотов.

Подготовку проб продукта требуемой влажности выполняли в соответствии с описанной выше методикой, а полученные таким образом пробы растирали в фарфоровой ступке до однородной массы. Полученным материалом заполняли специальную цилиндрическую емкость.

Подготовленные таким образом пробы выдерживали при требуемой для опыта температуре на протяжении двух часов вместе с нажимным доскообразным пуансоном, после чего пуансон располагали на поверхности продукта и накладывали на его поверхность утяжелитель весом один килограмм. Под действием утяжелителя пуансон плотно прижимался к исследуемому продукту. В таком положении пробы выдерживали 60 секунд, после чего утяжелитель удаляли и начинали прикладывать усилие вдоль оси пуансона в обратном от продукта направлении. В момент отрыва дискового пуансона от поверхности исследуемого материала фиксировали показатель созданного усилия. Опыты также проводили с трехкратной повторностью в каждой исследуемой точке.

Удельный показатель адгезии L, кПа определяли по формуле:

$$L = \frac{F}{S}, \qquad (3)$$

где F – критическая величина усилия, при которой происходит отрыв пуансона, Н;

S – абсолютная величина площади пуансона, м².

Результаты исследований и их обсуждения

Статистическая обработка полученных опытных данных позволила установить эмпирические модели, адекватно описывающие влияние влажности органических загрязнений W, % на изменение коэффициента статического трения f при температурах 0° С и 20° С:

$$f_{0°C}(W) = 1{,}2108 - 0{,}0877 \cdot W + 0{,}0026 \cdot W^2 \qquad (4)$$

$$f_{20°C}(W) = 1{,}7026 - 0{,}1204 \cdot W + 0{,}0035 \cdot W^2 \qquad (5)$$

Для наглядной интерпретации установленных закономерностей результаты представлены в виде графиков на рис. 1 и 2.

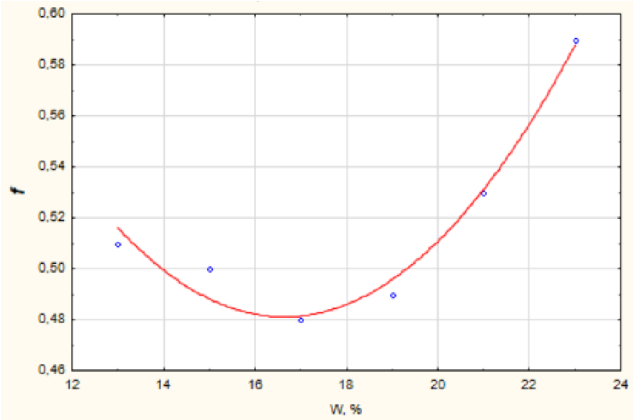


Рис. 1 – График зависимости коэффициента трения органических загрязнений по стали f от влажности W, % при температуре 0° С
Fig. 1 – Graph of the dependence of the friction coefficient of organic contaminants on steel f on humidity W, % at a temperature of 0° C

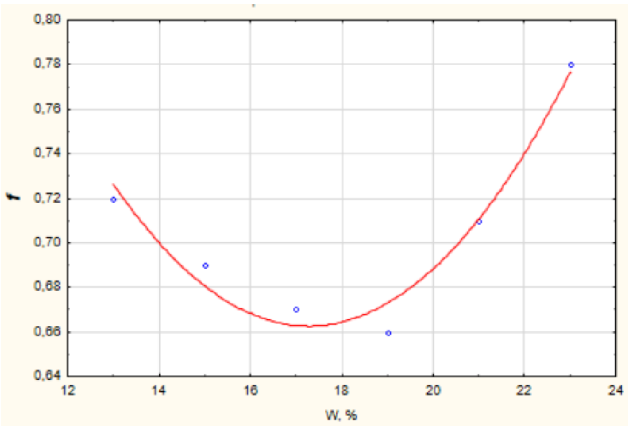


Рис. 2 – График зависимости коэффициента трения органических загрязнений по стали f от влажности W, % при температуре 20° С
Fig. 2 – Graph of the dependence of the friction coefficient of organic contaminants on steel f on humidity W, % at a temperature of 20° C

Следующий этап исследования предполагал установление влияния влажности и температуры органических загрязнений суши сотов на изменение удельной величины адгезии. Статистическая обработка полученных опытных данных позволила установить эмпирические модели, адекватно описывающие влияние влажности органических загрязнений W, % на изменение удельной силы адгезии органических загрязнений L, кПа при температурах 0° С и 20° С:

$$L_{0°C}(W) = 0{,}6568 - 0{,}0835 \cdot W + 0{,}0033 \cdot W^2 \quad (6)$$

$$L_{20°C}(W) = 4{,}1292 - 0{,}5444 \cdot W + 0{,}0184 \cdot W^2 \quad (7)$$

Для наглядной интерпретации установленных закономерностей результаты представлены в виде графиков на рис. 3 и 4.

В результате проведенного исследования установлено, что влажность и температура продукта оказывают значимое влияние на динамику исследуемого процесса, при этом в наибольшей степени влияет влажность (рис. 1-4). Анализ полученных зависимостей показывает, что влажность оказывает наибольшее влияние на удельную силу адгезии органических загрязнений, содержащихся в восковом сырье при температуре 20° С. при увеличении влажности органических загрязнений воскового сырья от 13 % до 23 % при температуре 0° С удельная сила адгезии изменяется от 0,12 до 0,47 кПа, а при температуре +20° С от 0,1 до 1,4 кПа. Статический коэффициент трения обнаруживает явный минимум при влажности 15-16 % в диапазоне температур от 0° С до +20° С. Полученные модели (4)-(7) с достаточной точностью аппроксимируют результаты опытов, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов детерминации R^2, соответственно: 0,922; 0,903; 0,969; 0,988.

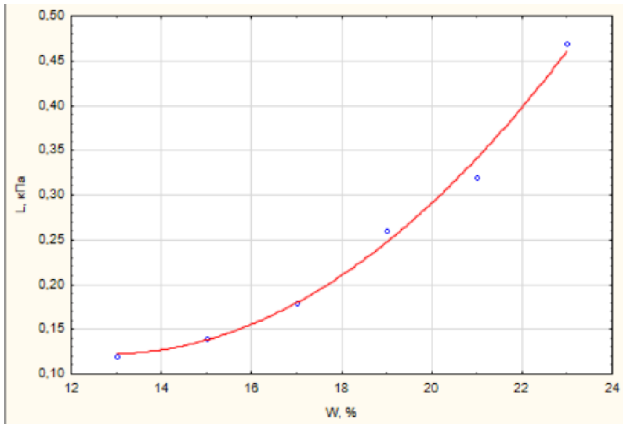


Рис. 3 – График зависимости удельной силы адгезии органических загрязнений L, кПа от влажности W, % при температуре 0° С
Fig. 3 – Graph of the dependence of the specific adhesion force of organic contaminants L, kPa on humidity W, % at a temperature of 0° C

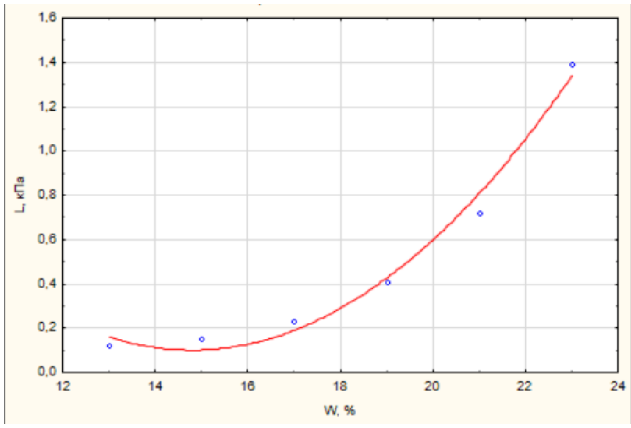


Рис. 4 – График зависимости удельной силы адгезии органических загрязнений L, кПа от влажности W, % при температуре 20° С
Fig. 4 – Graph of the dependence of the specific adhesion force of organic contaminants L, kPa on humidity W, % at a temperature of 20° C

Заключение

Анализ результатов проведенного исследования показал, что влажность оказывает наибольшее влияние на физико-механические свойства органических загрязнений воскового сырья, в то

время как температура имеет значительно менее выраженное воздействие. Так, при увеличении влажности органических загрязнений воскового сырья от 13 % до 23 % при температуре 0° С, удельная сила адгезии изменяется от 0,12 до 0,47 кПа, а при температуре +20° С от 0,1 до 1,4 кПа. Статический коэффициент трения обнаруживает выраженный минимум при влажности 15-16 % в диапазоне температур от 0° С до +20° С.

Список источников

1. К вопросу обоснования рациональных условий очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д. Е. Каширин, И. А. Успенский, В. В. Павлов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 87-91. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.015. – EDN XWUUCS.

2. Теоретическое исследование процесса очистки воскового сырья от загрязнений при интенсивном механическом перемешивании в воде / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 94-99. – EDN YSAQVN.

3. Исследование производительности процесса вибрационной очистки пчелиных сотов / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 9(174). – С. 192-199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.

4. Максимов, Н. М. К вопросу охлаждения пасечного воска после перетопки воскосырья / Н. М. Максимов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : Сборник докладов XV Международной научно-практической конференции, Великие Луки, 09–10 апреля 2020 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 127-131. – EDN ESJJBP.

5. Максимов, Н. М. Теоретическое обоснование работы воскопресса "Лисица" при отжиме воска из мервы / Н. М. Максимов, Н. В. Никифоров // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 97-99. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.017. – EDN LBZUCN.

6. Максимов, Н. М. Об эффективности использования воскопресса "лисица" при перетопке воска на пасеке / Н. М. Максимов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2(31). – С. 44-50. – EDN SYUIJA.

7. Каширин, Д. Е. Обоснование параметров электронагревательной установки для пчелиных ульев / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, К. Е. Гобелев // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 1(10). – С. 139-144. – EDN OMWZCZ.

8. Патент на полезную модель № 188608 U1 Российская Федерация, МПК A01K 59/06, F24C 1/00. парогенератор для вытопки воска : № 2018106374 : заявл. 20.02.2018 : опубл. 17.04.2019 / В. В. Морозов, Н. М. Максимов ; заявитель Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования "Великолукская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN COEDQP.

9. Морозов, В. В. Парогенератор для вытопки воска на пасеке / В. В. Морозов, Н. М. Максимов // Пчеловодство. – 2019. – № 6. – С. 46-48. – EDN PQFZDD.

10. Максимов, Н. М. Перспективная технология переработки воскового сырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов, В. В. Морозов // Традиции и инновации в развитии АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Великие Луки, 17–19 апреля 2019 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 493-499. – EDN ZEMFUX.

11. Максимов, Н. М. Парогенератор для малых хозяйств / Н. М. Максимов, В. В. Морозов // Сельский механизатор. – 2019. – № 5. – С. 24-25. – EDN TVEQWZ.

12. Максимов, Н. М. Многофакторное исследование выработки пара в парогенераторе при перетопке воска / Н. М. Максимов, О. М. Афанасьева // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 2(31). – С. 84-91. – EDN SZCFWH.

13. Максимов, Н. М. Результаты многофакторного исследования выработки пара в парогенераторе при перетопке воска на пасеках / Н. М. Максимов, В. В. Морозов // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 1(29). – С. 77-80. – EDN NOOJNY.

14. Максимов, Н. М. Совершенствование технологии переработки воскосырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов // Международный молодежный аграрный форум "Аграрная наука в инновационном развитии АПК" : Материалы международной научно-практической конференции, Майский, 26–28 ноября 2018 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 148-151. – EDN YZLONV.

15. Максимов, Н. М. Предпосылки к разработке технологии переработки воскосырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 235-239. – EDN YNSDWX.

16. Максимов, Н. М. Упрощённый способ извлечения перги из пчелиных сот / Н. М. Максимов, Е. В. Лосякова // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2(66). – С. 57-61. – EDN YVOGUM.

17. Максимов, Н. М. Анализ оборудования для получения пчелиного воска на пасеках / Н. М. Максимов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2018. – № 1(6). – С. 66-71. – EDN UOBJEK.

18. Максимов, Н. М. Исследование качествен-

ных показателей пасечного воска / Н. М. Максимов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3(32). – С. 48-54. – EDN JROVGE.

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

References

1. K voprosu obosnovaniya racional'nyh uslovij ochistki voskovogo syr'ya v vode pri intensivnom mekhanicheskom peremeshivanii / D. E. Kashirin, I. A. Uspenskij, V. V. Pavlov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 87-91. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.015. – EDN XWUUCS.

2. Teoreticheskoe issledovanie processa ochistki voskovogo syr'ya ot zagryaznenij pri intensivnom mekhanicheskom peremeshivanii v vode / D. E. Kashirin, V. V. Pavlov, I. A. Uspenskij [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. – № 4(40). – S. 94-99. – EDN YSAQVN.

3. Issledovanie proizvoditel'nosti processa vibracionnoj ochistki pchelinyh sotov / A. V. SHemyakin, S. N. Borychev, D. E. Kashirin [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2021. – № 9(174). – S. 192-199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.

4. Maksimov, N. M. K voprosu ohlazhdeniya pasechnogo voska posle peretopki voskosyr'ya / N. M. Maksimov // Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve : Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Velikie Luki, 09–10 aprelya 2020 goda. – Velikie Luki: Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 127-131. – EDN ESJJBP.

5. Maksimov, N. M. Teoreticheskoe obosnovanie raboty voskopressa "Lisica" pri otzhime voska iz mervy / N. M. Maksimov, N. V. Nikiforov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 97-99. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.017. – EDN LBZUCN.

6. Maksimov, N. M. Ob effektivnosti ispol'zovaniya voskopressa "lisica" pri peretopke voska na paseke / N. M. Maksimov // Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 2(31). – S. 44-50. – EDN SYUIJA.

7. Kashirin, D. E. Obosnovanie parametrov elektronagrevatel'noj ustanovki dlya pchelinyh ul'ev / D. E. Kashirin, V. V. Pavlov, K. E. Gobelev // Vestnik Soveta molodyh uchenyh Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(10). – S. 139-144. – EDN OMWZCZ.

8. Patent na poleznuyu model' № 188608 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01K 59/06, F24C 1/00. parogenerator dlya vytopki voska : № 2018106374 : zayavl. 20.02.2018 : opubl. 17.04.2019 / V. V. Morozov, N. M. Maksimov ; zayavitel' Federal'noe Gosudarstvennoe Byudzhetnoe Obrazovatel'noe Uchrezhdenie Vysshego Obrazovaniya "Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya". – EDN COEDQP.

9. Morozov, V. V. Parogenerator dlya vytopki voska na paseke / V. V. Morozov, N. M. Maksimov // Pchelovodstvo. – 2019. – № 6. – S. 46-48. – EDN PQFZDD.

10. Maksimov, N. M. Perspektivnaya tekhnologiya pererabotki voskovogo syr'ya na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov, V. V. Morozov // Tradicii i innovacii v razvitii APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Velikie Luki, 17–19 aprelya 2019 goda. – Velikie Luki: Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. – S. 493-499. – EDN ZEMFUX.

11. Maksimov, N. M. Parogenerator dlya malyh hozyajstv / N. M. Maksimov, V. V. Morozov // Sel'skij mekhanizator. – 2019. – № 5. – S. 24-25. – EDN TVEQWZ.

12. Maksimov, N. M. Mnogofaktornoe issledovanie vyrabotki para v parogeneratore pri peretopke voska / N. M. Maksimov, O. M. Afanas'eva // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2019. – № 2(31). – S. 84-91. – EDN SZCFWH.

13. Maksimov, N. M. Rezul'taty mnogofaktornogo issledovaniya vyrabotki para v parogeneratore pri peretopke voska na pasekah / N. M. Maksimov, V. V. Morozov // Vestnik Kurganskoj GSKHA. – 2019. – № 1(29). – S. 77-80. – EDN NOOJNY.

14. Maksimov, N. M. Sovershenstvovanie tekhnologii pererabotki voskosyr'ya na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov // Mezhdunarodnyj molodezhnyj agrarnyj forum "Agrarnaya nauka v innovacionnom razvitii APK" : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Majskij, 26–28 noyabrya 2018 goda. – Majskij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.YA. Gorina, 2018. – S. 148-151. – EDN YZLONV.

15. Maksimov, N. M. Predposylki k razrabotke tekhnologii pererabotki voskosyr'ya na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov // Innovacionnoe nauchno-obrazovatel'noe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : materialy 69-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ryazan', 25 aprelya 2018 goda. Tom CHast' II. – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2018. – S. 235-239. – EDN YNSDWX.

16. Maksimov, N. M. Uproshchyonnyj sposob izvlecheniya pergi iz pchelinyh sot / N. M. Maksimov, E. V.

Losyakova // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2018. – № 2(66). – S. 57-61. – EDN YVOGUM.

17. Maksimov, N. M. Analiz oborudovaniya dlya polucheniya pchelinogo voska na pasekah / N. M. Maksimov // Vestnik Soveta molodyh uchenyh Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2018. – № 1(6). – S. 66-71. – EDN UOBJEK.

18. Maksimov, N. M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej pasechnogo voska / N. M. Maksimov // Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 3(32). – S. 48-54. – EDN JROVGE.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Шемякин Александр Владимирович, *д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru*

Каширин Дмитрий Евгеньевич, *д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kadm76@mail.ru*

Алексеев Алексей Николаевич, *аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», qwe20qw@mail.ru*

Павлов Виктор Вячеславович, *канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», pavlov.rgatu@mail.ru*

Куракин Дмитрий Владимирович, *ст. лаборант кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kurakind@internet.ru*

Author Information

Shemyakin Alexander V., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru*

Kashirin Dmitry E., *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kadm76@mail.ru*

Alekseev Aleksej N., *Postgraduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, qwe20qw@mail.ru*

Pavlov Viktor V., *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pavlov.rgatu@mail.ru*

Kurakin Dmitry V., *Laboratory assistant of the Department of Electrical Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kurakind@internet.ru*

Статья поступила в редакцию 08.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 12.12.2024.

The article was submitted 08.10.2024; approved after reviewing 18.11.2024; accepted for publication 12.12.2024.

Вестник РГАТУ, 2024, т.16, №4, с. 183-191
Vestnik RGATU, 2024, Vol.16, №4, pp. 183-191

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171
DOI: 10.36508/RSATU.2024.93.49.001

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ЛЕНТЫ ТРАНСПОРТЕРА

Юрий Алексеевич Юдаев[1] ✉, Юрий Николаевич Абрамов[2], Николай Викторович Цыганов[3], Игорь Владимирович Холоден[4]

[1] Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Рязань, Россия
[2,3] ФГОБУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия
[4] Московский университет Министерства Внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя (Рязанский филиал), Рязань, Россия

[1] yu.yudaev@mail.ru
[3]Omega.slider@mail.ru

Аннотация.
Проблема и цель. *Цель работы – проведение численных исследований вибрационных колебаний ленты транспортера при перемещении картофеля с комьями плодородного слоя. Задачами исследования являются: разработка математического алгоритма движения ленты транспортера, создание программного обеспечения для проведения компьютерных экспериментов и анализ полученных данных.*
Методология. *Базируется на методах численного моделирования вибрационных процессов движения ленты транспортера при перемещении картофеля. В качестве объекта исследования был выбран транспортер и его работа при перемещении груза с изменяющейся массой. При численном решении дифференциального уравнения затухающих колебаний второго порядка был применен явный метод Рунге-Кутта четвертого порядка. Графическая обработка результатов моделирования осуществлялась с помощью программы MathCad.*
Результаты. *В результате численного исследования было установлено, что на участке между валиками транспортера лента под воздействием переносимого неравномерно распределенного веса совершает колебания только с тремя полуволнами. Одна положительная полуволна и две отрицательные. Максимальная частота колебаний ленты при грузе 90-120 кг/м², массе пруткового полотна 20 кг/м² и расстоянии между валиками 1,24- 2,1 м не может превышать 10 Гц.*
Заключение *Результаты исследования позволили расширить представления о работе транспортера при переносе клубней картофеля, определить возможные формы транспортировочной ленты при переносе груза с изменяющейся массой и определить диапазон частот, в котором возможны резонансные явления.*

Ключевые слова: *численное моделирование, транспортер, лента транспортера, метод Рунге-Кутта, уравнение затухающих колебаний, резонансные явления*
Для цитирования: *Юдаев Ю.А., Абрамов Ю.Н., Цыганов Н.В., Холоден И.В. Математическое моделирование вибрации ленты транспортера // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С. 183-191 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2024.93.49.001*

Original article

MATHEMATICAL MODELING OF CONVEYOR BELT VIBRATION

Yuri A. Yudaev[1]✉, Yuri N. Abramov[2], Nikolai V. Tsyganov[3], Igor V. Kholoden[4]

[1] Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia
[2,3] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[4] MOSCOW University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Ya. Kikot (Ryazan branch), Ryaza, Russia

© Юдаев Ю.А., Абрамов Ю.Н., Цыганов Н.В., Холоден И.В., 2024

[1] yu.yudaev@mail.ru
[3] Omega.slider@mail.ru

Annotation.
Problem and purpose. *The purpose of the work is to conduct numerical studies of the vibration vibrations of the conveyor belt during the movement of potatoes with lumps of the fertile layer. The objectives of the study were: compiling a mathematical model of the potato transportation process, compiling a numerical model and conducting a computer experiment with the analysis of the data obtained.*
Methodology. *It is based on the methods of numerical simulation of the vibration processes of the conveyor belt movement when moving potatoes. The conveyor and its operation during the movement of cargo with varying mass were chosen as the object of research. The explicit Runge-Kutta method of the fourth order was applied to the numerical solution of the differential equation of damped oscillations of the second order. Graphical processing of the simulation results was carried out using the MathCad program.*
Results. *As a result of numerical research, it was found that in the area between the conveyor rollers, the belt, under the influence of a portable, not evenly distributed weight, oscillates with only three half-waves. One positive half wave and two negative ones. The maximum frequency of vibrations of the belt with a load of 90-120 kg / m², a bar weight of 20 kg / m² and a distance between the rollers of 1.24 – 2.1 m cannot exceed 10 Hz. Conclusion The results of the study made it possible to expand the understanding of the operation of the conveyor when transferring potato tubers, to determine the possible forms of the conveyor belt when transporting cargo with varying weight and to determine the frequency range in which resonant phenomena are possible.*

Key words: *numerical modeling, conveyor, conveyor belt, Runge-Kutta method, equation of damped oscillations, resonant phenomena*

For citation: *Yudaev Yu.A., Abramov Yu.N., Tsyganov N.V., Kholoden I.V. Mathematical modeling of conveyor belt vibration // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024, T.16, No.4, P.183-191 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2024.93.49.001*

Введение

Моделирование работы сельскохозяйственных машин и оборудования позволяет оптимизировать технологические процессы и выбрать правильные условия работы. В сельскохозяйственном производстве широко применяются конвейеры и транспортеры. Вибрация конвейерных лент является важнейшим аспектом их правильной и безопасной эксплуатации. Определение частоты вибрации имеет важное значение для предотвращения опасных условий работы и преждевременного износа деталей.

В данной статье, которая продолжает цикл работ, связанных с моделированием технологических процессов в сельском хозяйстве [1-2], представлена модель колебаний ленты транспортера, которая основана на численном решении дифференциального уравнения затухающих колебаний. Такой подход позволяет включить в модель жесткость ленты с учетом движения находящегося на ней груза с переменным весом.

Вибрации конвейерной ленты являются распространенным динамическим явлением, возникающим при нормальной работе конвейера. Характеристики вибрации являются чрезвычайно важным фактором для правильной и бесперебойной работы. Неправильные условия вибрации могут привести к поломке [4,5]. Колебания могут быть классифицированы как продольные или поперечные в зависимости от их направления относительно ленты [6,7]. Продольные колебания ленты являются предметом большого количества исследований [8-11]. Они связаны с распространением и демпфированием волн напряжений в ленте. Поперечные колебания представляют собой циклические перемещения ленты в вертикальном направлении, возникающие между направляющими роликами. Эти колебания особенно опасны из-за возможности попадания ленточного конвейера в резонанс [12]. Вибрации также связаны с шумом, создаваемым конвейером [13]. В ленточных конвейерах резонанс часто возникает, когда собственная частота конвейера совпадает с частотой колебаний ленты. Это явление может привести к опасному увеличению амплитуды вибрации, что может привести к повреждению конвейерной системы и ее компонентов [14]. Роликоподшипники особенно подвержены резонансам, поскольку чрезмерные вибрации могут привести к преждевременному износу и повреждению подшипников. В экстремальных случаях резонанс может привести к полному выходу из строя конвейерной системы, что приведет к значительным затратам на ремонт, снижению производительности и создаст серьезную угрозу безопасности персонала и оборудования. Учитывая потенциальные риски, связанные с резонансом в конвейерных системах, крайне важно снизить его вероятность и выявить его причины. Этого можно достичь путем принятия соответствующих конструктивных мер на этапе проектирования конвейерной ленты и эксплуатации, проведения регулярного технического обслуживания и мониторинга в процессе работы. Предотвращение резонанса в конвейерных системах на стадии проектирования в первую очередь предполагает использование соответствующих моделей, которые могут прогнозировать колебания на основе предполагаемых рабочих параметров. Существуют также неконтролируемые вибрации, которые могут быть вызваны различными факторами, такими как конструкция передаточного механизма, электромеханические рабочие параметры и производственные дефекты. Вторая группа вибраций связана с возникающими во время работы конвейера рабочими параметрами, например перемещаемого груза (рисунки 1, 2).

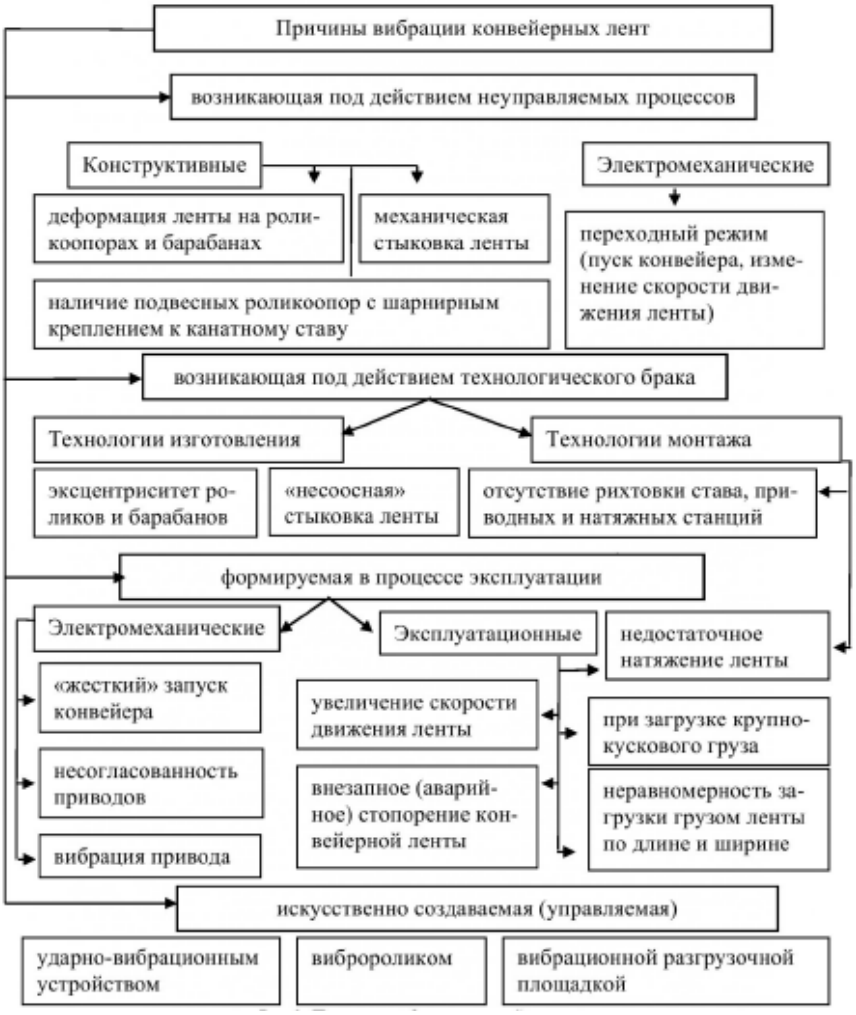


Рис. 1 – Причины вибрации конвейерных лент [3]
Fig. 1 – Causes of vibration of conveyor belts [3]

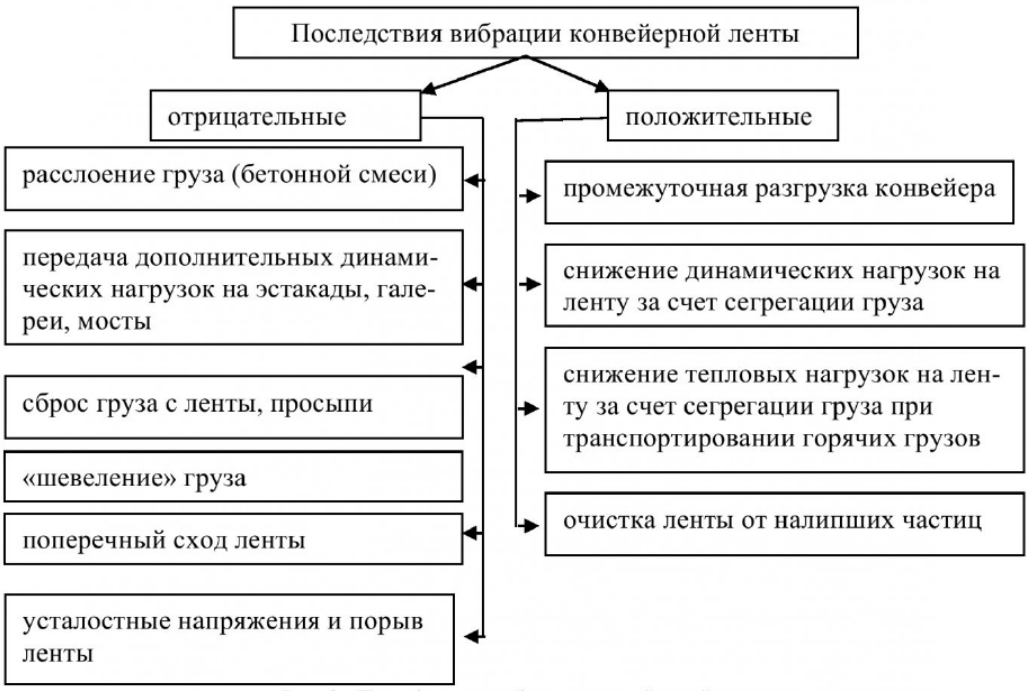


Рис. 2 – Последствия вибрации конвейерных лент [3]
Fig. 2 – Effects of conveyor belt vibration [3]

Модели вибрации ленты транспортера обычно подразделяются на два типа: статические и динамические. В статических моделях основным допущением для решения уравнений является то, что система находится в равновесии и вибрации отсутствуют. Подобные модели используются для определения усилий натяжения ленты, расчета прогиба и определения частоты собственных вибраций. При этом учитывается внешняя нагрузка на ленту и определяются граничные условия. В отличие от этого, динамические модели учитывают движение и вибрацию ленты и используются для изучения динамического поведения ленты в различных условиях эксплуатации. Лента рассматривается как упругая непрерывная система, подверженная воздействию сил в различных направлениях. Отдельные элементы, на которые разделена лента, или небольшой участок ленты могут быть смоделированы как непрерывная система (рис. 3). Статические модели более простые с точки зрения моделирования, чем динамические, но они не учитывают движение ленты. Динамические модели позволяют получить информацию о движении ленты, но более сложны при реализации численного алгоритма. В настоящее время большинство моделей являются статическими.

Другое направление моделирования колебания ленты транспортера основано на использовании уравнения второго порядка. В этом случае предполагается, что лента ведет себя как струна. Волновое уравнение связывает поперечное смещение со скоростью распространения волны. В большинстве подобных моделей предполагается, что лента однородна, т.е. площадь поперечного сечения и масса постоянны по всей длине.

Методика численного эксперимента

Уравнения для моделирования работы ленты на транспортере зависят от конкретных условий. Для моделирования могут быть использованы:

– уравнение движения ленты: уравнения, которые описывают движение ленты, могут включать в себя уравнения динамики твердого тела и деформации материала. С помощью этих уравнений мощно учитывать влияние скорости, ускорения, сил трения и других факторов;

– уравнения упругости: для моделирования процессов нагрузки на ленту транспортера применяют уравнения, которые описывают изменение во времени массы переносимого материала, распределение массы по площади и скорость перемещения;

– уравнения, учитывающие силы трения: при моделировании силы трения между лентой и роликами применяют уравнения, которые учитывают коэффициент трения и особенности соприкосаемых поверхностей;

– уравнения, описывающие натяжения ленты: для моделирования натяжения ленты используются уравнения, учитывающие массу ленты совместно с переносимым грузом и силы, возникающие при натяжении ленты.

Моделирование работы ленты может включать анализ различных факторов, например, движение переносимого груза, особенности работы оборудования.

Ниже приведены некоторые аспекты, которые могут учитываться при моделировании работы ленточного транспортера:– моделирование динамики движения ленты, включая скорость, ускорение, торможение, натяжение и деформацию ленты во время работы;

– анализ процессов загрузки и разгрузки материалов, перекладки, сортировки и других технологических операций, связанных с перемещением груза;

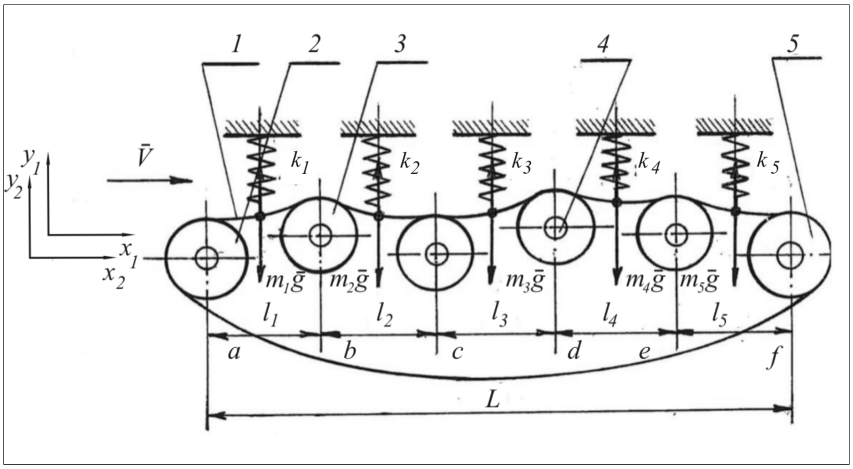
– оценка производительности транспортера;

– оценка надежности, безопасности и технического обслуживания ленточного транспортера;

– учет воздействия окружающей среды и условий работы.

Моделирование работы ленточного транспортера выполнялось с использованием методов численного анализа, компьютерных симуляций и математических моделей.

В предлагаемой модели не учитывается зависимость жесткости ленты транспортера от угла наклона. Задача решалась для горизонтального положения транспортера в координатных осях x_1, y_1 и x_2, y_2 в соответствии с осевым расположением центра оси эксцентрикового ролика (рис. 3).



1 – прутковое полотно; 2 – ведомый (передний) вал; 3 – эксцентриковый поддерживающий ролик; 4 – ось эксцентрикового ролика; 5 – ведущий (задний) вал

Рис. 3 – Схема транспортера, применяемая при моделировании

1– rod blade; 2 – driven (front) shaft; 3 – eccentric support roller; 4 – axis of the eccentric roller; 5 – drive (rear) shaft

Fig. 3 – conveyor diagram used in the simulation:

Жесткость поперечного сечения ленты может быть введена в расчет за счет увеличения жесткости пружины k. Подобная модель может быть применима к рассматриваемой конвейерной системе. Благодаря небольшому количеству определяемых параметров модели и отсутствию безразмерных коэффициентов, регулирующих жесткость системы конвейерной ленты, она может быть эффективно использована на стадии инженерного проектирования для предотвращения резонанса и является более точной альтернативой широко используемым решениям.

При движении картофеля по ленте транспортера ее геометрия изменяется. Увеличение массы клубней и почвы приводит к провисанию, уменьшение количества транспортируемых компонентов вызывает выпрямление. Распределение сил, действующих на ленту, показано на рисунке 3.

Провисание или выпрямление ленты транспортера вызывает изменение геометрии, поэтому при моделировании необходимо контролировать длину ленты в расчетной области R. Для этого необходимо применить формулу для определения длины плавной кривой.

Основные расчетные формулы моделирования

Любую кривую на плоскости можно аппроксимировать, соединив конечное число точек с помощью прямых отрезков для создания ломаной линии. Можно вычислить длину каждого линейного сегмента, а общую длину приближения можно найти путем суммирования. Такое приближение носит название кумулятивного или хордового расстояния. Использование большего количества отрезков меньшей длины приведет к более точным вычислениям. Подобное определение длины кривой путем аппроксимации соединенных отрезков называется выпрямлением кривой. В общем случае длины последовательных приближений могут не уменьшаться, а продолжать увеличиваться, но для плавных кривых они будут стремиться к конечному пределу, поскольку длины отрезков становятся сколь угодно малыми:

$$f: [a, b] \to R \tag{1}$$

где a и b – координаты отрезка в области R.

Для некоторых кривых существует наименьшее число, которое является верхней границей длины всех многоугольных приближений (выпрямления). Эти кривые называются выпрямляемыми, а длина дуги определяется как число.

Пусть f:[a,b]→R – инъективная и непрерывно дифференцируемая функция. Длина кривой может быть вычислена в виде суммы длин линейных сегментов.

$$L(f) = \lim_{N\to\infty} \sum_{i=1}^{N} |f(x_i) - f(x_{i-1})|, \tag{2}$$

Это определение соответствует обычному определению длины дуги:

$$L(f) = \lim_{N\to\infty} \sum_{i=1}^{N} |f(x_i) - f(x_{i-1})| =$$
$$= \lim_{N\to\infty} \sum_{i=1}^{N} \left|\frac{f(x_i) - f(x_{i-1})}{\Delta x}\right| \Delta x = \int_a^b |f'(x)|\, dx. \tag{3}$$

Определение длины дуги гладкой кривой как суммы от нормы производной эквивалентно определению:

$$L(f) = sup \lim_{N\to\infty} \sum_{i=1}^{N} |f(x_i) - f(x_{i-1})|, \tag{4}$$

где *supremum* берется по всем возможным направлениям. Эта формула справедлива, если функция f (x) является непрерывной.

При построении модели применялось уравнение, описывающее затухающие гармонические колебания:

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -b\frac{dy}{dt} - ky, \tag{5}$$

где y – изменение длины пружины (положение ленты транспортера в точке с координатой x) от первоначальной величины в соответствии с рисунком 3;

m – суммарная сосредоточенная масса транспортировочной ленты с почвой и картофелем;

k – коэффициент жесткости ленты (условной пружины);

b – коэффициент затухания.

Изменение значения массы картофеля и почвы реализуется программным способом с помощью оператора:

m = random(m) (6)

Введя частоту колебаний ω_0 , запишем уравнение (5) в общепринятом виде:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\beta(t)\frac{dy}{dt} + \omega_0^2(t)y = 0, \tag{7}$$

где: β(t) – коэффициент затухания, 2β=b/m;

ω_0 (t) – частота собственных колебаний системы.

$$\beta(t) = \frac{b(t)}{2m} \tag{8}$$

$$\omega_0(t) = \sqrt{\frac{k(t)}{m}} \tag{9}$$

Заменив первую и вторую производные центральными конечными разностями:

$$\frac{dy}{dt} \approx \frac{y_{i+1} - yx_{i-1}}{2\Delta t}$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} \approx \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta t^2}$$

получим конечно-разностную аппроксимацию уравнения (5):

$$\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta t^2} + 2\beta(t_j)\frac{y_{i+1} - yx_{i-1}}{2\Delta t} + \omega_0^2(t_j)y = 0, \tag{10}$$

При численном решении (10) учитывалось:

– расстояние между осями вращения валов находится в диапазоне L = (1,24-2,0) м;

– расстояние между осями вращения переднего вала, эксцентрикового ролика и заднего вала равное ($l_1=l_2=l_3=l_4=l_5$);

– скорость движения полотна элеватора в диапазоне V = (1,9-.2,1) м/с;

– высота подбрасывания картофельного вороха не более H ≤ 0,2 м;

– масса картофельного вороха с одного метра рядка элеватора варьируется в пределах

M = (90-120) кг/м²;

– масса пруткового полотна 20 кг/м².

Уравнение (10) решалось методом Рунге-Кутта 4-го порядка для дифференциального уравнения второго порядка с ограничением (4).

В качестве начального условия были приняты длины полотна на участках [a, b], [b, c], ... [e, f], определяемые длиной дуги c, которую можно определить из формул:

$$c = \frac{\pi r}{180}\alpha,$$
$$r = \frac{c^2 - 4h^2}{8h} \qquad (11)$$

где α – угол сектора дуги, град,

h – провисание полотна транспортера на участке между роликами,

r – радиус окружности, образующей дугу (рис. 4).

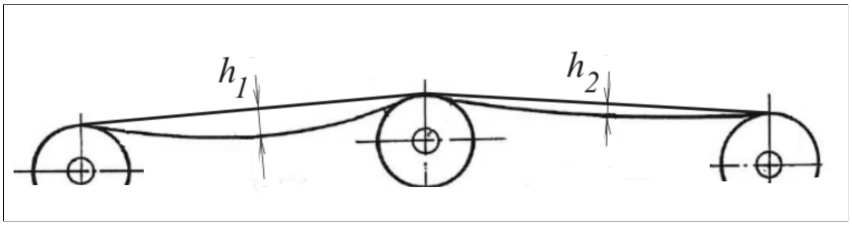


Рис. 4 – Провисание ленты транспортера на различных участках между роликами
Fig. 4 – Sagging of the conveyor belt in various sections between the rollers

Граничные условия определялись положением полотна транспортера на роликах. Уравнение (10) решалось для каждого участка [a, b], [b, c], ... [e, f], с нулевыми граничными условиями y(a) =0, y(b) =0, ... y(f) = 0.

Результаты и их обсуждение

Результаты моделирования показали, что при характерной работе транспортера ленты возможны только три ее положения между роликами. Амплитуда отклонения от состояния покоя может быть различной, но форма может иметь только три вида, показанных на рисунке 5.

Возможные варианты:

– повисание полотна транспортера у первого ролика, рисунок 5 а,

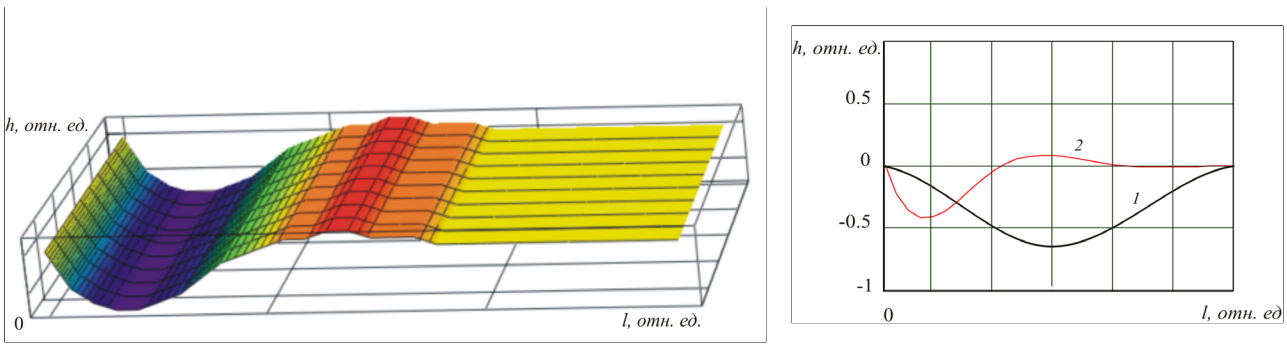
1 – исходное положение ленты,

2 – возможное положение ленты при перемещении груза.

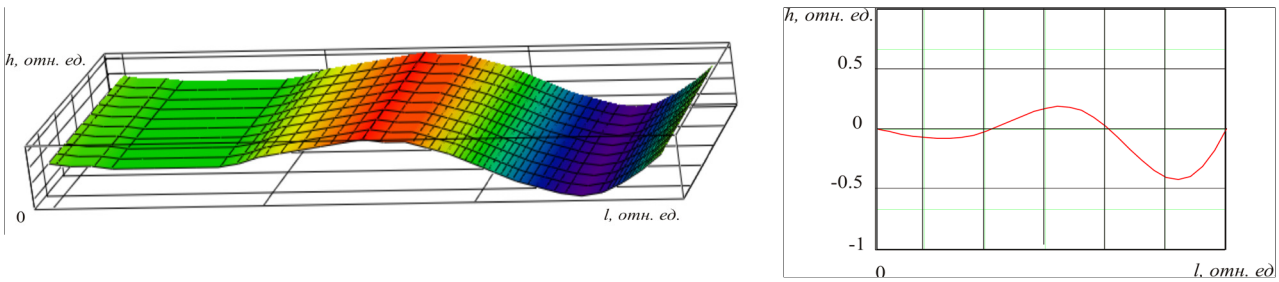
Длины ленты в положении 1 и 2 одинаковы в соответствии с (4);

– провисание полотна транспортера у второго ролика;

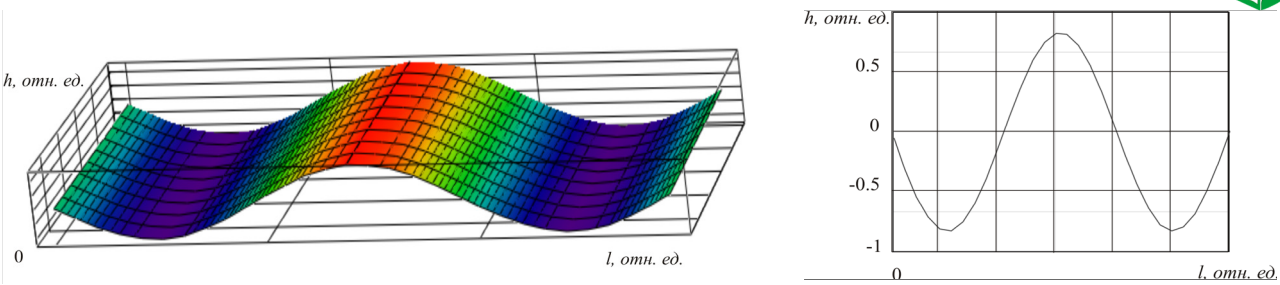
– гармоническая форма колебания полотна транспортера с 1,5 условным периодом колебания.



а



б



в

Рис. 5 – Возможные вероятностные положения ленты транспортера между роликами при перемещении изменяющегося во времени веса переносимого груза: а – провисание полотна транспортера у первого ролика; б – провисание полотна транспортера у второго ролика; в – гармоническая форма колебания полотна транспортера

Fig. 5 – Possible probabilistic positions of the conveyor belt between the rollers when moving the weight of the transported cargo that varies over time: a – sagging of the conveyor belt at the first roller; b – sagging of the conveyor belt at the second roller; c – harmonic shape of the conveyor belt oscillation

На рисунке 6 показаны возможные колебания центральной точки полотна транспортера с учетом вероятностного процесса изменения веса переносимого картофеля на участке [a, b]. Результаты моделирования показали, что возможное изменение частоты колебаний не может превышать 10 Гц на жестких транспортировочных лентах.

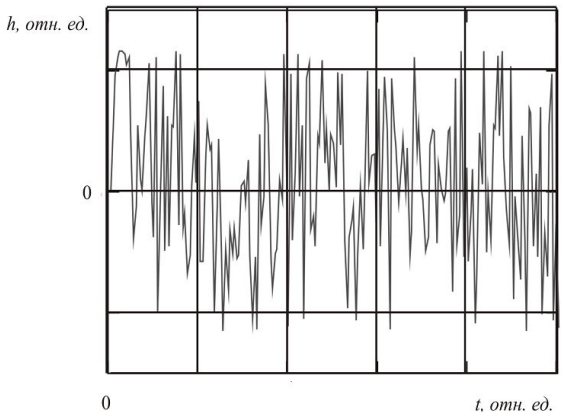


Рис. 6 – Колебания центральной точки полотна транспортера

Fig. 6 – Fluctuations of the central point of the conveyor belt

Заключение

В результате численного моделирования методом Рунге-Кутта четвертого порядка было установлено, что на участке между роликами транспортера лента под воздействием переносимого, неравномерно распределенного, веса совершает колебания только с тремя полуволнами. Одна положительная полуволна и две отрицательные. Максимальная частота колебаний ленты при грузе 90-120 кг/м², массе пруткового полотна 20 кг/м² и расстоянии между валиками 1,24 -2,1 м не может превышать 10 Гц.

Результаты исследования позволили расширить представления о работе транспортера при переносе клубней картофеля, определить возможные формы транспортировочной ленты при переносе груза с изменяющейся массой и определить диапазон частот, в котором возможны резонансные явления.

Список источников

1. Исследование взаимодействия подпружиненного лемеха с частицей почвенного пласта основанное на решении уравнения Лагранжа второго рода

Юдаев Ю.А., Абрамов Ю.Н., Иванкина О.П., Угланов М.Б., Байгильдеева Е.И. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 3 (71). С. 117-123.

2. Математическое моделирование работы подпружиненного лемеха картофелеуборочного комбайна Абрамов Ю.Н., Костенко М.Ю., Угланов М.Б., Юдаев Ю.А. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14. № 4. С. 106-113.

3. Захаров А.Ю., Ерофеева Н.В. Вестник Кузбасского технического государственного университета 2015 №6 с. 78-82.

4. Zimroz, R. & Krol, R. Failure analysis of belt conveyor systems for condition monitoring purposes. Min. Sci. 128, 255 (2009).

5. Homisin, J., Grega, R., Kassay, P., Fedorko, G. & Molnar, V. Removal of systematic failure of belt conveyor drive by reducing vibrations. Eng. Fail. Anal. 99, 192-202 (2019).

6. Chen, L.-Q. Analysis and control of transverse vibrations of axially moving strings. Appl. Mech. Rev. 58, 91-116. https://doi.org/ 10.1115/1.1849169 (2005).

7. Hu, Y., Wang, L., Wang, X., Qian, X. & Yan, Y. Simultaneous measurement of conveyor belt speed and vibration using an electrostatic sensor array. Proc. 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 757-761, https://doi.org/10.n09/I2MTC.2015.7151363 (IEEE, 2015).

8. Hou, Y.-F. & Meng, Q.-R. Dynamic characteristics of conveyor belts. J. China Univ. Min. Technol. 18, 629-633. https://doi.org/10. 1016/S

1006-1266(08)60307-7 (2008).

9. He, D., Pang, Y. & Lodewijks, G. Belt conveyor dynamics in transient operation for speed control. Int. J. Civ. Environ. Struct. Constr. Archit. Eng. 10, 828-833 (2016).

10. Li, J. & Pang, X. Belt conveyor dynamic characteristics and influential factors. Shock Vib. https://doi.org/10.1155/2018/8106879 (2018).

11. Кожушко Г. Г. Анализ вынужденных поперечных колебаний конвейерных лент / Г. Г. Кожушко, М. Д. Лукашук // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сб. трудов XVII Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 4–5 апр., 2019, Екатеринбург. — Екатеринбург : УГГУ,2019 — С. 469–472.

12. Bauomy, H. & El-Sayed, A. Vibration performance of a vertical conveyor system under two simultaneous resonances. Arch. Appl. Mech. 88, 1349-1368. https://doi.org/10.1007/s00419-018-1375-9 (2018).

13. Brown, S. Conveyor noise specification and control. Proc. Conference paper 2004 Annual Conference of the Australian Acoustical Society 3e5 November, 269e76 (2004).

14. Harrison, A. & Roberts, A. Technical requirements for operating conveyor belts at high speed. Bulk Solids Handl. (Germany) 4 (1984).

15. Rana, S., Nagayama, T., Hisazumi, K. & Tominaga, T. Damage identification of a belt conveyor support structure based on crosssectional vibration characteristics. Struct. Control. Health Monit. 26, e2349. https://doi.org/10.1002/stc.2349 (2019).

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

References

1. Issledovaniye vzaimodeystviya podpruzhinennogo lemekha s chastitsey pochvennogo plasta osnovannoye na reshenii uravneniya Lagranzha vtorogo roda Yudayev YU.A., Abramov YU.N., Ivankina O.P., Uglanov M.B., Baygil'deyeva Ye.I. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. T. 18. № 3 (71). S. 117-123.

2. Matematicheskoye modelirovaniye raboty podpruzhinennogo lemekha kartofeleuborochnogo kombayna Abramov YU.N., Kostenko M.YU., Uglanov M.B., Yudayev YU.A. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2022. T. 14. № 4. S. 106-113.

3. Zakharov A.YU., Yerofeyeva N.V. Vestnik Kuzbasskogo tekhnicheskogo gosudarstvennogo universiteta 2015 №6 s. 78-82.

4. Zimroz, R. & Krol, R. Failure analysis of belt conveyor systems for condition monitoring purposes. Min. Sci. 128, 255 (2009).

5. Homisin, J., Grega, R., Kassay, P., Fedorko, G. & Molnar, V. Removal of systematic failure of belt conveyor drive by reducing vibrations. Eng. Fail. Anal. 99, 192-202 (2019).

6. Chen, L.-Q. Analysis and control of transverse vibrations of axially moving strings. Appl. Mech. Rev. 58, 91-116. https://doi.org/ 10.1115/1.1849169 (2005).

7. Hu, Y., Wang, L., Wang, X., Qian, X. & Yan, Y. Simultaneous measurement of conveyor belt speed and vibration using an electrostatic sensor array. Proc. 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 757-761, https://doi.org/10.n09/I2MTC.2015.7151363 (IEEE, 2015).

8. Hou, Y.-F. & Meng, Q.-R. Dynamic characteristics of conveyor belts. J. China Univ. Min. Technol. 18, 629-633. https://doi.org/10. 1016/S 1006-1266(08)60307-7 (2008).

9. He, D., Pang, Y. & Lodewijks, G. Belt conveyor dynamics in transient operation for speed control. Int. J. Civ. Environ. Struct. Constr. Archit. Eng. 10, 828-833 (2016).

10. Li, J. & Pang, X. Belt conveyor dynamic characteristics and influential factors. Shock Vib.https://doi.org/10.1155/2018/8106879 (2018).

11. Kozhushko G. G. Analiz vynuzhdennykh poperechnykh kolebaniy konveyyernykh lent / G. G. Kozhushko, M. D. Lukashuk // Tekhnologicheskoye oborudovaniye dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti : sb. trudov XVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Chteniya pamyati V. R. Kubacheka», 4–5 apr., 2019, Yekaterinburg. — Yekaterinburg : UGGU, 2019 — S. 469–472.

12. Bauomy, H. & El-Sayed, A. Vibration performance of a vertical conveyor system under two simultaneous resonances. Arch. Appl. Mech. 88, 1349-1368. https://doi.org/10.1007/s00419-018-1375-9 (2018).

13. Brown, S. Conveyor noise specification and control. Proc. Conference paper 2004 Annual Conference of the Australian Acoustical Society 3e5 November, 269e76 (2004).

14. Harrison, A. & Roberts, A. Technical requirements for operating conveyor belts at high speed. Bulk Solids Handl. (Germany) 4 (1984).

15. Rana, S., Nagayama, T., Hisazumi, K. & Tominaga, T. Damage identification of a belt conveyor support structure based on crosssectional vibration characteristics. Struct. Control. Health Monit. 26, e2349. https://doi.org/10.1002/stc.2349 (2019)

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Юдаев Юрий Алексеевич, *д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», Рязанский институт (филиал), ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Рязань, Россия, yu.yudaev@ mail.ru.*

Абрамов Юрий Николаевич, *доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия*

Цыганов Николай Викторович, *ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, Omega.slider@mail.ru*

Холоден Игорь Владимирович, *Московский университет Министерства Внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя (Рязанский филиал), Рязань, Россия*

Author information

Yudaev Yuri A., *Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch), Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, yu.yudaev@mail.ru.*

Abramov Yuri N., *Associate Professor, Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Tsyganov Nikolay V., *Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, Omega.slider@mail.ru*

Kholoden Igor V., *Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Ya. Kikotya (Ryazan branch), Ryazan, Russia*

Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 19.11.2024; принята к публикации 12.12.2024

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 19.11.2024; accepted for publication 12.12.2024