

ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 17 N 4 2023

Vol. 17 N 4 2023

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL



4 2023





Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(РОСКОМНАДЗОР)
Свидетельство ПИ № ФС77-84201
от 22 ноября 2022 г.

Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ для публика-
ции трудов соискателей ученых степе-
ней кандидата и доктора наук по специ-
альностям: 4.1.5 / 4.3.1 / 4.3.2 / 5.6.6.

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Полные тексты статей
размещены на сайте электронной
научной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Охраняется законом РФ № 5351-1
«Об авторском праве и смежных правах»
от 9 июля 1993 года. Контент распростра-
няется под лицензией Creative Commons
Attribution 4.0 License. Нарушение закона
будет преследоваться в судебном порядке.

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев,
Л.А. Горелова,
Г.В. Быковская,
Р.М. Нурбагандова
Перевод – Светлана Сорокина

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109428, Москва,
1-й Институтский проезд, 5, стр. 1.
Телефоны: (499) 174-88-11
(499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2023

Мнение редакции не всегда совпадает
с позицией авторов публикаций.

Ответственность за достоверность
изложенных фактов и правильность
цитат несут авторы.

Не принятые к публикации статьи не воз-
вращаются и не рецензируются.

Выходит 4 раза в год
(Свободная цена)

Дата выхода в свет 15.12.2023
Формат 60 x 90/8. Объем 13,5 п.ч. л.
Тираж 500 экз
Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=527153

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Яков Петрович Лобачевский (НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР)

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=369308

Алексей Семенович Дорохов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, заместитель директора по научно-организационной работе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=550644

Михаил Никитьевич Ерохин

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=626708

Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, главный научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=672993

Йошисукэ Кишида

академик, Президент компании «Шин-Норинша», г. Токио, Япония

Юрий Федорович Лачуга

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=365637

Антонин Махалек

доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института сельскохозяйственной техники, г. Прага, Чешская Республика

Владимир Дмитриевич Попов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного направления Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=684252

Синьминь Лю

профессор, ректор Циндаоского аграрного университета, г. Циндао, Китайская Народная Республика

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных проблем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

Даврон Рустамович Норчаев

доктор технических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механизации садоводства и овощеводства» Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства Республики Узбекистан, г. Карши, Кашкардарьинская область, Республика Узбекистан

Юлия Сергеевна Ценч

доктор технических наук, доцент, заместитель директора по образовательной и редакционно-издательской деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=816741

Вячеслав Иванович Черноиванов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=552570

Роман Алексеевич Фандо

доктор исторических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=124382



The journal is registered by Federal Agency for Supervision of Legislation Observance of Mass Communications Sphere and Cultural Heritage Protection Certificate ПИ No. ФС77-84201 from November, 22, 2022

The Journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission for publishing the research results of studies and theses for Ph.D. and Dr.Sc. degrees in scientific specialties 4.1.5 / 4.3.1 / 4.3.2 / 5.6.6.

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citation (RISC).

Full texts of articles are placed on the website of electronic library: elibrary.ru

Protected by the Russian Federal Law RF №5351-1 "On Copyright and Related Rights" dated July 9, 1993. Content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License. Violations are subject to prosecution.

EXECUTIVE EDITORS:

Bizhaev V.V.,
Bykovskaya G.V.,
Gorelova L.A.,
Nurbagandova R.M.
Translation into English –
Svetlana Sorokina

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5, bild. 1.
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" of the Russian Academy of Sciences

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Board Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Yakov P. Lobachevskiy (SCIENTIFIC EDITOR)

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academician Secretary of Department of Agricultural Sciences at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Aleksey S. Dorokhov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific and Organizational Work of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Mikhail N. Erokhin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Yuriy A. Ivanov

Dr.Sc.(Agr.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences; Chief Researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Yoshisuke Kishida

Academician, President Shin-Norinsha Co., LTD, Tokyo, Japan

Yuriy F. Lachuga

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Board Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Antonin Makhalek

Dr.Sc.(Eng.), Director of the Agricultural Machinery Research Institute, Prague, Czech Republic

Vladimir D. Popov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Direction of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St.Peterburg, Russian Federation

Xinmin Liu

Professor, Rector of Qingdao Agricultural University, Qingdao, People's Republic of China

Zharylkasyn S. Sadykov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Davron R. Norchaev

Dr.Sc.(Eng.), Senior Researcher, Head of the «Mechanization of Horticulture and Vegetable Growing» Laboratory of the Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization of the Republic of Uzbekistan, Karshi city, Kashkadarya region, Republic of Uzbekistan

Yuliya S. Tsench

Dr.Sc.(Eng.), Associate Professor, Deputy Director for Educational, Editorial and Publishing Activities of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav I. Chernoiyanov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Roman A. Fando

Dr.Sc.(Hist.), Director of the Federal State Budgetary Institution of Science S.I. Vavilov Institute of History of Natural Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

The opinion of the editorial board does not always coincide with the position of the authors of publications. Responsibility for the accuracy of the stated facts and correctness citations are carried by the authors. Articles not accepted for publication are not returned and are not reviewed.

Published 4 times a year (open price).

Publication date is 15.12.2023.

The format is 60 x 90/8. The volume is 13.5 print's sheets. The circulation is 500 copies.

Printed by FSBSI FSAC VIM.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Дорохов А.С., Чаплыгин М.Е., Аксенов А.Г., Шибряева Л.С., Блинов Н.Д., Чулков А.С., Подзоров А.В.**
Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле 4
- Альт В.В., Исакова С.П.**
Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты .. 12
- Керимов М.А.**
Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях 19
- Коротченя В.М.**
Механизация, автоматизация, роботизация, цифровизация: уточнение и систематизация понятий 26
- Михайличенко С.М., Купреенко А.И., Иванов Ю.Г., Никитин Е.А.**
Оптимизация объема роботизированного кормораздатчика методом моделирования с применением теории графов 35
- Московский М.Н., Борзенко С.И.**
Распределение высокозагрязненного соевого материала в глубоком воздушном канале 42
- Загоруйко М.Г., Башмаков И.А., Степанов К.А.**
Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели 49
- Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Сучков А.И., Бугаев А.В., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С.**
Температурные показатели охлаждающих жидкостей для аккумуляторов электротракторов и электромобилей 55
- Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С.**
Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны 62
- Девянин С.Н., Бижаев А.В., Павлов Я.Д., Ветрова С.М., Барчукова А.С.**
Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива 68
- Иовлев Г.А., Голдина И.И.**
Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной .. 75
- Задорожный Р.Н., Романов И.В.**
Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин ... 82

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- Ценч Ю.С., Миронова А.В.**
Ретроспективный анализ развития орудий для обработки задерненных почв с 1900 до 1950 год 87
- Смык А.Ф., Гусева Е.А., Форш Е.А.**
История современной агрономической физики: вклад и значение работ А.Ф. Иоффе 96
- Мударисов С.Г., Камалетдинов Р.Р.**
Становление и развитие научной школы профессора А.П. Иофинова 103

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- Dorokhov A.S., Chaplygin M.E., Aksenov A.G., Shibryaeva L.S., Blinov N.D., Chulkov A.S., Podzorov A.V.**
Grain seed treatment by a low-frequency electromagnetic field 4
- Alt V.V., Isakova S.P.**
Optimizing work planning for grain crop cultivation: software components 12
- Kerimov M.A.**
Development and use of biotechnological system models in applied scientific research 19
- Korotchenya V.M.**
Mechanization, automation, robotization, and digitalization: conceptual clarification and systematization 26
- Mikhailichenko S.M., Kupreenco A.I., Ivanov Yu.G., Nikitin E.A.**
Optimization of volume for an automatic feed wagon by graph theory based modeling 35
- Moskovskiy M.N., Borzenko S.I.**
Distribution of heterogeneous, highly impure soy material in a deep air channel 42
- Zagoruyko M.G., Bashmakov I.A., Stepanov K.A.**
Plant waste drying in an isothermal model 49
- Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Suchkov A.I., Bugaev A.V., Pulyaev N.N., Guzalov A.S.**
Coolant temperature indicators for batteries in electric tractors and vehicles 55
- Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S.**
Combined unit for tillage with pulsed shock wave action 62
- Devyanin S.N., Bizhaev A.V., Pavlov Ya.D., Vetrova S.M., Barchukova A.S.**
Parametric characterization of a tractor engine by specific fuel consumption 68
- Iovlev G.A., Goldina I.I.**
Dependence of tractor traction properties on agricultural machinery connections 75
- Zadorozhniy R.N., Romanov I.V.**
Enhancing irrigation efficiency through the selection of sprinkler machine design 82
- HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**
- Tsench Yu.S., Mironova A.V.**
Retrospective analysis of tools for blackened soil tillage from 1900 to 1950 87
- Smyk A.F., Guseva E.A., Forsh E.A.**
History of modern agronomic physics: contribution and significance of A.F. Ioffe works ... 96
- Mударисов С.Г., Камалетдинов Р.Р.**
Tracing the evolution and legacy of Professor A.P. Iofinov's scientific school 103

Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле

Алексей Семенович Дорохов¹,
академик РАН, доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: dorokhov.vim@yandex.ru;
Михаил Евгеньевич Чаплыгин¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: misha2728@yandex.ru;
Александр Геннадьевич Аксенов¹,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: 1053vim@mail.ru;

Людмила Сергеевна Шибряева^{1,2},
доктор химических наук, профессор,
e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru;
Никита Дмитриевич Блинов^{1,2},
инженер, младший научный сотрудник,
e-mail: nik.blinov76@gmail.com;
Андрей Сергеевич Чулков¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;
Алексей Викторович Подзоров¹,
научный сотрудник,
e-mail: alexvp900@yandex.ru

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отмечена возможность повышения продуктивности семян путем воздействия на них электромагнитного поля. Рассмотрены теоретические и практические предпосылки создания экспериментальной лабораторной установки для предпосевной обработки семян низкочастотным электромагнитным полем и достижения магнитобиологического эффекта. (*Цель исследования*) Изучить влияние низкочастотного электромагнитного поля на состав и свойства семян зерновых культур. (*Материалы и методы*) Применялись стандартные излучатели с вариативностью магнитной индукции 3-75 миллитесла, частотой излучения 1-100 Герц, обеспечивающие требуемые параметры воздействия на партию семян. (*Результаты и обсуждение*) Исследовали влияние магнитного воздействия на всхожесть, энергию прорастания, физико-химические свойства семян при варьировании параметров низкочастотного электромагнитного поля. Проведен анализ зависимости качества воздействия от параметров работы установки и массы семян различных зерновых культур от 10 до 500 г. На этой основе выбраны режимы и создана рабочая программа облучения, обеспечивающая высокую эффективность воздействия на показатели всхожести, прорастания и развития семян. (*Выводы*) Изучено влияние низкочастотного электромагнитного поля на состав и свойства зерна. Разработана экспериментальная лабораторная установка с источниками низкочастотного электромагнитного поля, обоснованы режимы излучения. Магнитобиологический эффект предпосевной обработки промышленной партии зависит от вида и сорта культуры, активации в клетке биологического комплекса, инициирующего развитие проростка, качества и влажности семян, наличия на поверхности микроорганизмов, в том числе патогенных, источников и энергетических параметров облучения. Определены параметры низкочастотного электромагнитного поля: магнитная индукция от 3 до 75 миллитесла, частота 10-16 Герц, масса семян от 10 до 500 граммов. Эти параметры будут использованы при создании промышленной установки для подготовки семенного материала и улучшения его посевных свойств.

Ключевые слова: зерновые культуры, низкочастотное электромагнитное поле, лабораторная установка, облучение семян, магнитобиологический эффект, всхожесть семян, энергия прорастания семян.

■ **Для цитирования:** Дорохов А.С., Чаплыгин М.Е., Аксенов А.Г., Шибряева Л.С., Блинов Н.Д., Чулков А.С., Подзоров А.В. Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 4-11. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-4-11. EDN: SLKEWQ.

Grain Seed Treatment by a Low-Frequency Electromagnetic Field

Alexey S. Dorokhov¹,
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: dorokhov.vim@yandex.ru;

Mikhail E. Chaplygin¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: misha2728@yandex.ru;

Alexander G. Aksenov¹,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: 1053vim@mail.ru;

Lyudmila S. Shibryaeva^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru;

Nikita D. Blinov^{1,2},
engineer, junior researcher,
e-mail: nik.blinov76@gmail.com;

Andrey S. Chulkov¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;

Alexey V. Podzorov¹,
researcher,
e-mail: alexvp900@yandex.ru

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²Emanuel Institute of Biochemical Physics of RAS, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper notes the potential for enhancing seed productivity through exposure to an electromagnetic field. It touches upon both theoretical and practical considerations for developing an experimental laboratory plant for pre-sowing seed treatment using a low-frequency electromagnetic field and aiming to achieve a magnetobiological effect. (*Research purpose*) The study aims to investigate the influence of low-frequency electromagnetic field on the composition and properties of grain seeds. (*Materials and methods*) Standard emitters, characterized by a magnetic induction variability of 3-75 millitesla and a radiation frequency of 1-100 Hertz, were employed to ensure the necessary treatment parameters for a batch of seeds. (*Results and discussion*) The study investigates the impact of magnetization on the germination process, germination energy, and the physical and chemical properties of seeds subjected to different parameters of a low-frequency electromagnetic field (ranging from 3 to 75 millitesla in magnetic induction and a radiation frequency of 10-16 Hertz). The quality of the effect was analyzed with respect to the installation parameters and seed mass, ranging from 10 to 500 grams, across various cereal crops. Subsequently, specific modes were identified, and a functional irradiation program was devised to ensure a highly effective impact on seeds, optimizing their germination, sprouting and development. (*Conclusions*) The impact of a low-frequency electromagnetic field on the composition and properties of grain has been studied. An experimental laboratory plant with sources of a low-frequency electromagnetic field has been developed and irradiation modes have been justified. The pre-sowing treatment of an industrial batch, the magnetobiological effect is contingent upon several factors, including the crop type and variety, activation of a biological complex in a cell that initiates the development of a seedling, seed quality and moisture content, the presence of microorganisms on the surface, pathogenic ones included, and the characteristics of irradiation sources and energy parameters. The parameters of the low-frequency electromagnetic field were determined as follows: magnetic induction ranging from 3 to 75 millitesla, a frequency 10-16 Hertz, and seed weight varying from 10 to 500 grams. These identified parameters will be applied in the development of an industrial unit designed for the preparation of seed material and enhancement of its sowing properties.

Keywords: cereal crops, low-frequency electromagnetic field, laboratory plant, seed irradiation, magnetobiological effect, seed germination, seed germination energy

For citation: Dorokhov A.S., Chaplygin M.E., Aksenov A.G., Shibryaeva L.S., Blinov N.D., Chulkov A.S., Podzorov A.V. Obrabotka semyan zernovykh kul'tur v nizkochastotnom elektromagnitnom pole [Grain seed treatment by a low-frequency electromagnetic field]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 4-11 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-4-11. EDN: SLKEWQ.

Технологии повышения продуктивных свойств семян зерновых культур путем электромагнитного воздействия и поиск соответствующих технических решений направлены на переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, внедрение систем рационального применения средств защиты возделываемых культур, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственного сырья, выпуску безопасных и качественных продуктов питания.

С середины 1950-х годов специалисты в СССР, США, Канаде, Франции весьма интенсивно исследовали условия для достижения надежной и стабильной активации генетического и физиологического по-

тенциала растений [1]. Первыми стали применять на практике электромагнитные установки в промышленных масштабах для обработки посевного материала сельхозпроизводители Канады. В 1970 году в провинции Альберта, одном из основных регионов-производителей зерновых этой страны, более 20 тыс. га сельхозугодий были засеяны семенами, которые предварительно подвергали электромагнитному воздействию [2].

В разных регионах СССР также на десятках тысячах гектарах полей апробировалось выращивание семян, обработанных электромагнитными волнами. При низких затратах на стимуляцию процесса прорастания семян урожайность зерновых культур (пше-

ница, рожь, ячмень, овес, кукуруза) повысилась в среднем на 10-12% (максимально на 18-26%) и овощей (капуста, свекла, морковь, редис, огурцы, томат) – на 18-23% (максимально на 40-60%). Отмечалось улучшение показателей качества, в частности, повышение содержания клейковины в зерне, масла в семенах подсолнечника, сахаристости сахарной и кормовой свеклы [3].

В постсоветский период в странах СНГ продолжились исследования по электромагнитному облучению семян сельскохозяйственных, кормовых, лекарственных и других растений [4]. Сотрудники Белорусского государственного университета изучали вопросы предпосевной обработки семян кукурузы в электромагнитном поле СВЧ-диапазона, влияния резонансных частот на ростовые процессы и их регуляцию в корнях и проростках [5]. В Могилевском государственном университете продовольствия, НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь, Белорусской государственной сельскохозяйственной академии занимались разработкой оборудования для стимулирования СВЧ-полями семян моркови [6]. В научных публикациях в качестве объектов электромагнитной обработки указаны семена зерновых, таких как ячмень (в 28% рассмотренных статей), пшеница (28%), овощных культур (12%), кукурузы (6%), подсолнечника (6%), сорго (4%), зернобобовых культур (4%), гречихи, льна-долгунца и ряд других [7].

Цель исследования: изучить влияние низкочастотного электромагнитного поля на состав и свойства зерна злаковых культур.

Материалы и методы. Источником низкочастотного электромагнитного поля служили стандартные излучатели российского производства с вариативностью магнитной индукции 3-75 мТл и частотой излучения 1-100 Гц, которые обеспечивают требуемые параметры воздействия на семена зерновых культур. Методы исследования базируются на теоретических основах электротехники, теории планирования эксперимента и математической статистики. Качественный и количественный состав семян, содержание в них гликозидных связей определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Всхожесть и энергию прорастания семян оценивали по методике ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Предпосылки создания установки. Поиск и разработкой технологических и технических решений по воздействию электромагнитных волн на сельскохозяйственные культуры занимались российские специалисты. В Рязанском государственном агротехнологическом университете имени П.А. Костычева семена перед посевом обрабатывали в магнитном поле напряженностью 50 Эрстед на магнитном модуле [8]. Эксперименты по влиянию градиентного магнитного поля на активизацию процессов водопоглощения зерна пше-

ницы сорта *Башкирская* проводились на базе Башкирского государственного аграрного университета [9].

В Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии с использованием технических конструкций определяли режимы предпосевной обработки семян ячменя сорта *Виконт* постоянным магнитным полем (д-р техн. наук Н.В. Ксёэн, канд. техн. наук И.Г. Сидорцов). Изменяя расстояние между магнитами, создавали магнитное поле различной напряженности. Кассеты первой установки состояли из двух зон постоянных магнитов шириной соответственно 12 и 25 мм, индукцией магнитного поля 75 и 85 мТл 35, градиентом магнитного поля 2,06, 1,52, 1,34 Тл/м вдоль осей Y, X_1, X_3 [10]. Кассеты второй установки состояли из двух зон магнитов шириной 15 и 80 мм, индукцией 100 и 110 мТл, градиентом магнитного поля вдоль осей Y, X_1, X_3 соответственно 1,71, 1,662, 1,57 Тл/м [11].

На базе Азово-Черноморского инженерного института-филиала Донского государственного аграрного университета изготовили экспериментальный соленоид из обмоточного провода ПЭТВ диаметром голого провода 1,5 мм, сечением 1,77 мм с числом витков 103. Питание соленоида осуществлялось током переменного напряжения 4-6 В частотой 5 Гц. Индукция магнитного поля внутри соленоида изменялась от 55 до 70 Тл/м [12]. Соленоид без сердечника служит самым простым устройством для магнитной обработки семян, внутри которого относительно однородная напряженность магнитного поля. Если на обмотку подать переменное напряжение заданной частоты, то на помещенный внутрь семенной материал будет воздействовать переменное магнитное поле.

Создание лабораторной установки в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ. Совместно с Казахским национальным аграрным исследовательским университетом и Институтом биохимической физики имени Н.М. Эммануэля РАН изучали влияние низкочастотного электромагнитного поля разной интенсивности и продолжительности облучения на энергию прорастания, всхожесть семян и биометрические показатели развития растений яровой пшеницы в условиях фитотрона [13, 14]. Эти исследования показали положительное влияние магнитного воздействия на отдельные (штучные) образцы зерна и проявление эффекта магниторецепции. Однако в промышленных условиях на больших партиях зерна подобные работы не проводились.

Условия воспроизводимости результатов и эффективности низкочастотного электромагнитного излучения зависят от режима облучения семян. При выборе режима облучения учитывают:

- вид и сорта обрабатываемой культуры, качество и влажность семян, их обсемененность микроорганизмами, в том числе патогенными;
- содержание в клетке биологического комплекса исследуемого сорта;

- назначение применяемых приборов;
- источники облучения и энергетические параметры.

Биологическое воздействие электрического поля зависит от напряженности, амплитудного значения плотности, частоты и формы тока, времени экспозиции. Суммарный эффект является сложной функцией перечисленных факторов и сочетаний для каждого объекта [15]. С учетом опыта использования конструкций низкочастотных излучателей при определении параметров и режимов работы, оптимальных для достижения магнитобиологического эффекта, необходимо подобрать тип энергетического воздействия, который был бы воспринят зерновками на клеточном уровне [16]. Предварительно установлено в лабораторных и полевых условиях, что для семян зерновых культур такое воздействие оказывает низкочастотное электромагнитное поле с индукцией от 3 до 75 мТл и частотой 10-16 Гц [17].

Результаты и обсуждение. Для лабораторной установки выбраны источники низкочастотного электромагнитного поля [18]. На ней проводили облучение зерна с целью стимуляции биофизических и биохимических свойств, получения высоких устойчивых урожаев и потребительских качеств зерна при хранении [19].

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из прямоугольного корпуса, разделенного на ячейки, с панелью излучателей, блока управления, таймера, набора 24 проботборников, градуированных по высоте заполнения (рис. 2).



Рис. 1. Лабораторная установка с блоком управления источниками излучения и панелью излучателей низкочастотных электромагнитных волн: а – 3D-модель установки; б – магнитотерапевтический прибор

Fig. 1. Laboratory plant with a control unit radiation source and a panel of emitters for low-frequency electromagnetic waves: a – 3D model of the plant; b – magnetotherapy device

Установка создана на основе Патента РФ на изобретение № RU 2804114 C1 «Лабораторная установка для облучения семян или зерна низкочастотным электромагнитным излучением». Базовым компонентом оборудования являются излучатели низкочастотного магнитного поля российского производства.

Панель излучателей состоит из четырех гибких линеек, в каждой шесть последовательно соединенных излучателей. Панель расположена на дне корпуса. На каждый излучатель устанавливают проботборники – стаканы толщиной 2-3 мм, дно примерно



Рис. 2. 3D-модель проботборника (а) и набор проботборников со слоем зерна от 2 до 18 см (б)

Fig. 2. 3D model of a sampler (a) and a set of samplers with a grain layer from 2 to 18 cm (b)

такого же размера, как излучатель, высота 18 см. Стаканы изготовлены из прозрачного полипропилена, не препятствующего проникновению магнитных волн.

Согласно методике эксперимента в каждый проботборник загружают определенный объем зерна и устанавливают в ячейки на излучатели. На блоке управления задается оптимальный по времени и энергии магнитного поля режим облучения индивидуально для вида и сорта зерна, толщины слоя семян в каждом проботборнике. Высота насыпного слоя может быть до 18 см. В блоке питания создается напряжение, необходимое для работы панелей излучателей. По истечении заданного времени каждый излучатель автоматически отключается.

Исследовали пять сортов озимой и яровой пшеницы и три сорта озимого и ярового ячменя. Применялись методы, базирующиеся на теоретических основах электротехники, теории планирования эксперимента, методах теории вероятности и математической статистики [20].

Продолжительность электромагнитного воздействия (T) составляла 10, 20, 30 и 40 минут при интенсивности мощности (магнитная индукция) 10 мТл, частоте 16 Гц. Интенсивность регулировалась высотой слоя облучаемых семян, равной 0,3 и 1,5 см. Контрольным опытом служил образец зерна без электромагнитной обработки.

Поглощаемая зерном мощность, которая необходима для повышения всхожести и энергии прорастания (полезная мощность), значительно ниже, чем теоретически рассчитана для лабораторной установки. Однако из-за особенностей конструкции при увеличении слоя облучаемого зерна соотношение теоретической мощности и полезной снижается. Мощность внешнего излучателя при толщине слоя 0,3 см составляла 10 мТл, а в слое 1,5 см – 8 мТл.

Семена для проращивания помещали в стерильные чашки Петри с двойным слоем увлажненной фильтровальной бумаги (по 100 семян на чашку) и термостатировали при 20°C. На третьи сутки определяли энергию прорастания, на седьмые сутки – лабораторную всхожесть в соответствии с ГОСТ 12038–84. Проростки зерна оценивали по основным морфометрическим параметрам (длина и количество корней, длина побега, масса корней и побегов). Измерения проводили в четырехкратной повторности.

В сравнении с контролем выявлена тенденция постепенного увеличения энергии прорастания и лабораторной всхожести семян при продолжительности магнитного воздействия от 10 до 30 минут, а затем снижения. Установлена зависимость этих показателей от высоты слоя облучаемого семян. Наибольшая энергия прорастания семян яровой пшеницы (82,4-82,6%) зафиксирована при высоте облучаемого слоя 0,3 см и экспозиции от 20 до 30 минут. У ярового ячменя при аналогичных параметрах наибольшая энергия прорастания составила 62,7-62,8%. Эти значения превышали контрольные образцы пшеницы на 5,1-5,5%, ячменя – на 3,8-4,0%.

Определение магнитобиологического эффекта.

Влияние электромагнитного поля на семена зерновых заключается в запуске и ускорении ферментативных процессов, которые обуславливают развитие растения. Магнитобиологический эффект исследовали по изменению содержания гликозидных связей (в данном случае связей углерода и кислорода C-O-C) в макромолекулах крахмала и жира. Это основные запасные вещества клетки зерна, которые расщепляются до низкомолекулярных аминокислот, других простых соединений и участвуют в биосинтезе и образовании тканей и частей уже нового растения.

Содержание гликозидных (-GH) связей определяли на БИК-анализаторе FOSS NIRS DS2500 и наблюдали за динамикой содержания GH-связей в течение 22 дней в образцах семян, облученных в слое различной высоты (рис. 3).

Процесс ферментативного гидролиза крахмала в

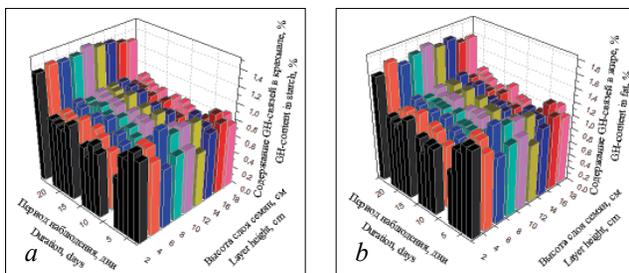


Рис. 3. Содержание гликозидных связей (-GH) : а – в крахмале; б – в жире

Fig. 3. Glycosidic bonds (-GH) content: a – in starch; b – in fat

семенах с образованием продуктов биохимических превращений и активизации ферментов, инициирующих появление проростка, стабилизируется на 7-9 день после облучения семян. Для жира стабилизация процесса также происходит за этот период. При обработке большой массы зерна (высота слоя 14-18 см)

содержание гликозидных связей в крахмале становится наименьшим к 17-20-му дню. Чтобы содержание гликозидных связей в аминокислотах, необходимых для развития корневого зародыша и стебелька, было наибольшим, высота слоя облучаемой партии зерна должна быть 14 см. Оптимальная высота слоя (расстояние от излучателей) составляет 15 см.

Выводы

1. Изучено влияние низкочастотного электромагнитного поля и ранее обнаруженных эффектов магнитобиологических воздействий на состав и свойства семян зерновых культур. Обосновано применение режимов облучения: магнитная индукция от 3 до 75 мТл, частота 10-16 Гц.

2. В случае облучения пшеницы интенсивностью 10 мТл, частотой 16 Гц на протяжении 25 минут:

- увеличение содержания гликозидных связей, отражающий процесс биохимического преобразования крахмала и жира в вещества, необходимые для прорастания зерна, стабилизируется на 7-9-й день после облучения семян. При обработке большой массы зерна (слой 14-18 см) содержание гликозидных связей становится наименьшим к 17-20-му дню;

- для достижения максимального содержания гликозидных связей в аминокислотах и других веществ, необходимых для развития корневого зародыша и стебелька, наибольшая высота слоя при облучении партий зерна должна быть 14 см. Оптимальная высота слоя (расстояние от излучателей) равна 15 см.

3. Несмотря на многочисленные исследования, в том числе выполненные на созданной установке, проблема стимулирующего действия физических факторов для разработки программы высокоэффективного омагничивания семян разной массы требует дополнительного изучения. Например, для выявления особенностей неспецифической биологической реакции стимуляции роста и развития высших растений на действие слабых физических факторов (температуры и влажности).

Результаты испытаний могут быть взяты за основу при создании промышленной установки.

Работа выполнена на средства гранта по Соглашению № 075-15-2022-1210 от 07.10.2022 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта по теме «Разработка технологий и оборудования для улучшения продуктивных свойств семян зерновых культур путем электромагнитного воздействия».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокопудова О.А., Донецких В.И., Долганова З.В. Стимуляция всхожести семян *Iris Ensata Thunb.* магнитными импульсами с изменяемой частотой // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация.* 2016. №2. С. 98-101.
2. Grigorieva E., Shulga P. Agricultural development in the Ca-

- nadian Prairies. *International agricultural journal*. 2022. N5. 441-449. DOI: 10.55186/25876740-2022-6-5-28.
3. Шаршунов В.А., Червяков А.В., Курзенков С.В., Циркунов А.С. Оборудование для предпосевного стимулирования семян СВЧ-полем // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2011. N1(10). С. 5-10. EDN: VBFGBZ.
 4. Alchimbayeva S., Zhalnin E.V., Sadykov Z.S., et al. The processing of seeds of spring wheat by low frequency electromagnetic field in an industrial environment. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 7. N6. 1057-1061. EDN: VQZECG.
 5. Пушкина Н.В. Влияние предпосевной обработки семян электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона на структурно-функциональное состояние проростков кукурузы // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. 4 (46). Ч. 5. С. 32-34. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.265.
 6. Антипкина Л.А., Левин В.И., Борычев С.Н. и др. Использование градиентного магнитного поля в предпосевной обработке семян огурца // *Агрэкоинфо*. 2022. N1. DOI:10.51419/202121123.
 7. Каримтаева Т., Оразбай А., Ишмуратова М.Ю. Оценка биомассы проростков зерновых культур после обработки лазером // *Актуальные проблемы современности*. 2020. N4(30). С. 162-167. EDN: NONABV.
 8. Шогенов Ю.Х., Романовский Ю.М., Измайллов А.Ю., Миронова Е.А. Реакции растений на локальное электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн // *Техника и оборудование для села*. 2018. N2. С. 27-30. EDN: YTYUPY.
 9. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. N1. С. 21-26. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26. EDN: YWZJNR.
 10. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсивная обработка семян земляники садовой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 9-15. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-11-5-9-15. EDN: ZSLLGN.
 11. Ахметшин А.Т., Атнагулов Д.Т., Мухамедьянова Т.К. Экспериментальное исследование влияния обработки семян пшеницы магнитным полем на их водопоглощение // *АПК России*. 2020. N2. С. 245-249. EDN: WENYOA.
 12. Кулешов А.Н., Ерешко А.С., Хронюк В.Б. Применение магнитных полей постоянных магнитов для предпосевной обработки семян ячменя // *Вестник аграрной науки Дона*. 2011. N1(13). С. 95-100. EDN: RDPTTL.
 13. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А. и др. Посевные качества семян мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при разных режимах воздействия низкочастотным электромагнитным полем // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. N3. С. 580-587. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.580rus.
 14. Alchimbayeva A.S., Shibryaeva L.S., Zhalnin E.V., et al. The processing of seeds of spring wheat by low-frequency electromagnetic field in an industrial environmental. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 7. N6. 1057-1061. EDN: VQZECG.
 15. Старухин Р.С., Белицын И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // *Ползуновский вестник. Раздел 1. Проблемы электробезопасности. Современные электротехнологии и электрооборудование*. 2009. N4. С. 97-98.
 16. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. 3(32). С. 94-100. EDN: YLWHAL.
 17. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55. EDN: RJSVZT.
 18. Измайллов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 536-538. DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538. EDN: UKKACW.
 19. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10. EDN: YFRZDV.
 20. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М. и др. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4 (33). С. 150-156. EDN: YTHPID.

REFERENCES

1. Sorokopudova O.A., Donetskikh V.I., Dolganova Z.V. Stimulyatsiya vskhozhesti semyan *Iris EnsataThunb*. Magnitnymi impul'sami s izmenyaemoy chastotoy [Stimulation of seed germination of *Iris EnsataThunb*. magnetic pulses with variable frequency]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Khimiya. Biologiya. Farmaciya*. 2016. N2. 98-101 (In Russian).
2. Grigorieva E., Shulga P. Agricultural development in the Canadian Prairies. *International agricultural journal*. 2022. N5. 441-449 (In English). DOI: 10.55186/25876740_2022_6_5_28.
3. Sharshunov V.A., Chervyakov A.V., Kurzenkov S.V., Tsirkunov A.S. Oborudovanie dlya predposevnogo stimulirovaniya semyan SVCh-polem [The equipment for pre-sowing stimulation of seeds microwave field]. *Konstruirovaniye, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skokozyaystvennogo naznacheniya*. 2011. N1(10). 5-10 (In Russian). EDN: VBFGBZ.
4. Alchimbayeva A.S., Shibryaeva L.S., Zhalnin E.V., et al. The processing of seeds of spring wheat by low frequency elec-

- tromagnetic field in an industrial environment. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 7. Is. 6. (In English). EDN: VQZECG.
5. Pushkina N.V. Vliyaniye predposevnoy obrabotki semyan elektromagnitnym polem sverkhvysokochastotnogo diapazona na strukturno-funkcional'noe sostoyaniye prorostkov kukuruzy [Influence of pre-sowing seeds treatment by the electromagnetic field superhigh-frequency range on the structurally-frequency range on and functional condition corn rootlets]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016. N4(46).Part 5. 32-34 (In Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.265.
 6. Antipkina L.A., Levin V.I., Borychev S.N., et al. Ispol'zovanie gradientnogo magnitnogo polya v predposevnoy obrabotke semyan ogurtsa [Use of a gradient magnetic field in the pre-sowing treatment of cucumber seeds]. *Agroecoinfo*. 2022. N1 (In Russian). DOI: 10.51419/202121123. EDN: ERAYMM.
 7. Karimtayeva T., Orazbay A., Ishmuratova M.Yu. Otsenka biomassy prorostkov zernovykh kul'tur posle obrabotki lazerom [Assesment of the biomass of grain seedlings after laser treatment]. *Aktual'nye problemy sovremennosti*. 2020. 4(30). 162-167 (In Russian). EDN: NOHABV.
 8. Shogenov Yu.Kh., Romanovsky Yu.M., Izmailov A.Yu., et al. Reaktsii rasteniy na lokal'noe elektromagnitnoe izlucheniye v shirokom diapazone dlin voln [Reactions of plants to local electromagnetic radiation in a wide wave length range]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2018. N2. 27-30 (In Russian). EDN: YTUYPY.
 9. Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Predposevnaya obrabotka semyan zernobovovykh kul'tur v magnitnom pole [Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds with a magnetic field]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. N1. 21-26 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26. EDN: YWZJNR.
 10. Kutyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A., Tsench Yu.S. Magnitno-impul'sivnaya obrabotka semyan zemlyaniki sadovoy [Magnetic-pulse treatment of garden strawberry seeds]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N5. 9-15 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-11-5-9-15. EDN: ZSLLGN.
 11. Akhmetshin A.T., Atnagulov D.T., Mukhamed'yanova T.K. Eksperimental'noe issledovaniye vliyaniya obrabotki semyan pshenitsy magnitnym polem na ikh vodopogloshcheniye [Studying experimentally the effect of treatment wheat seeds with a magnetic field on their water absorption]. *APK Rossii*. 2020. N2. 245-249 (In Russian). EDN: WENYOA.
 12. Kuleshov A.N., Ereshko A.S., Khronyuk V.B. Primeneniye magnitnykh poley postoyannykh magnitov dlya predposevnoy obrabotki semyan yachmenya [The application of the magnetic fields of the permanent magnet for the barley seeds pre-sowing]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2011. N1(13). 95-100 (In Russian). EDN: RDPTTL.
 13. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., et al. Posevnye kachestva semyan myagkoy yarovoy pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) pri raznykh rezhimakh vozdeystviya nizkochastotnym elektromagnitnym polem [Pre-sowing treatment of seeds of spring wheat with low-frequency electromagnetic field]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2017. Vol. 52. N3. 580-587 (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.580rus.
 14. Alchimbayeva A.S., Shibryaeva L.S., Zhalnina E.V., et al. The processing of seeds of spring wheat by low frequency electromagnetic field in an industrial environment. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 7. N6. 1057-1061 (In English). EDN: VQZECG.
 15. Starukhin R.S., Beliysyn I.V., Khomutov O.I. Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem ellipticheskogo elektromagnitnogo polya [Method of pre-sowing seed treatment using an elliptical electromagnetic field]. *Polzunovskiy vestnik. Problemy elektrobezopasnosti. Sovremennyye elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye*. 2009. N4. 97-98 (In Russian).
 16. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian). EDN: YLWHAL.
 17. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdaniye i razvitiye sistem mashin i tekhnologii dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55 (In Russian). EDN: RJSVZT.
 18. Izmailov A.Yu. Intellektual'nyye tekhnologii i robotizirovannyye sredstva v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Intelligent technologies and robotic means in agricultural production]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. Vol. 89. N5. 536-538 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538. EDN: UKKACW.
 19. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovyye tekhnologii i robotizirovannyye tekhnicheskiye sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10. EDN: YFRZDV.
 20. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., et al. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologii i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4 (33). 150-156 (In Russian). EDN: YTHPID.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Дорохов А.С. – научное руководство, постановка проблемы, разработка теоретических предпосылок, формулирование основной концепции, целей и задач исследования, доработка текста, формирование общих выводов;

Чаплыгин М.Е. – формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;

Аксенов А.Г. – формулирование основной концепции исследования, формирование общих выводов, анализ литературных источников;

Шибряева Л.С. – разработка теоретических предпосылок, формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, выбор и обоснование режимов облучения, формирование выводов по результатам исследований и общих выводов;

Блинов Н.Д. – апробация разрабатываемых режимов, облучения семян, анализ состава зерна;

Чулков А.С. – доработка текста и оформление материалов, разработка и обоснование конструкции установки;

Подзоров А.В. – разработка и обоснование конструкции установки, обоснование параметров пробоотборников, анализ литературных источников.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Dorokhov A.S. – scientific supervision, problem statement, development of theoretical prerequisites, formulation of the basic concept of the study, its goals and objectives, manuscript revision, formation of general conclusions;

Chaplygin M.E. – formulation of the study main goals and objectives, manuscript revision and material design, literary review, formation of general conclusions, manuscript final revision;

Aksenov A.G. – formulation of the research main concept, formation of general conclusions, literature review;

Shibryaeva L.S. – development of theoretical prerequisites, formulation of the study main objectives and objectives, manuscript revision and preparation of materials, analysis of literary sources, selection and justification of exposure modes, formation of conclusions based on the study results and general conclusions;

Blinov N.D. – testing the developed modes, performing seed irradiation, performing grain composition analysis;

Chulkov A.S. – manuscript finalization and material design, development and justification of the plant design;

Podzorov A.V. – development and justification of the plant, justification of the parameters for the samplers, literature review.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

03.10.2023
20.11.2023

Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты

Виктор Валентинович Альт,
академик РАН, доктор технических наук, профессор,
e-mail: altviktor@ngs.ru;

Светлана Павловна Исакова,
старший научный сотрудник,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Российская Федерация

Реферат. Рассмотрены вопросы модернизации сельскохозяйственного сектора для повышения его эффективности и конкурентоспособности на основе внедрения цифровых технологий. Приведен анализ методов и программных средств для подбора технологий и технических средств. (*Цель исследования*) Разработать программные модули для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рационального использования машинно-тракторного парка с учетом агроклиматических и производственных условий хозяйства. (*Материалы и методы*) Для разработки программных компонент *web*-комплекса по сопровождению годового планирования работ при возделывании зерновых культур использовался метод, основанный на оценке природно-климатических и производственных условий. (*Результаты и обсуждение*) Обоснована целесообразность разработки программных компонент *web*-ориентированного программного комплекса путем выбора агротехнологий и вариантов рационального использования технических средств. Разработаны структурная схема программного комплекса в виде *web*-приложения, а также программные модули «Подбор технологий» и «Подбор технических средств», имеющие общую базу данных и объединенный интерфейс. Тестирование работы программных модулей по подбору технологий проведено в 2022 году на примере северо-лесостепной зоны Новосибирской области. Рассматривался вариант технологий возделывания пшеницы с нормальным уровнем интенсификации для четырех рабочих участков с разными предшественниками. (*Выводы*) Разработанные программные компоненты в дальнейшем войдут в программный комплекс в виде *web*-приложения при сопровождении машинных агротехнологий и могут использоваться в качестве системы поддержки принятия рациональных управленческих решений. Программный комплекс позволит автоматизировать процесс подбора технологий, формировать годовой план работ, рассчитывать экономические показатели.

Ключевые слова: выбор технологий растениеводства, выбор технических средств, программный комплекс, структурная схема, программные компоненты.

■ **Для цитирования:** Альт В.В., Исакова С.П. Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 12-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18. EDN: GQRORK.

Optimizing Work Planning for Grain Crop Cultivation: Software Components

Viktor V. Alt,
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: altviktor@ngs.ru;

Svetlana P. Isakova,
senior researcher,
e-mail: isakova.s.p@yandex.ru

Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation

Abstract. The paper considers modernization of the agricultural sector with the aim of enhancing its efficiency and competitiveness through the implementation of digital technologies. Additionally, it analyzes the methods and software employed for the selection of technologies and technical tools. (*Research purpose*) The research aims to develop software modules for managing the production of crop products. This involves the selection of appropriate agricultural technologies and the optimal utilization of the machine and tractor fleet. The software designed is expected to take into account the farm agroclimatic and production conditions. (*Materials and methods*) The development of software components for a *web*-based software package aimed to facilitate the annual work

planning in grain crop cultivation, is based on a method rooted in the evaluation of natural, climatic, and production conditions. (*Results and discussion*) The findings support the feasibility of developing software components for a *web*-based software package by selecting agricultural technologies and determining optimal utilization options for technical means. The research resulted in the development of a structural scheme for the software package designed as a *web*-based application, encompassing such software modules as «Selection of technologies» and «Selection of technical means». These modules share a unified interface and operate on a common database. The operation of software modules for selecting technologies was tested in the northern forest-steppe zone of the Novosibirsk region in 2022. The tests examined the cultivation technologies for wheat at a standard intensification level across four working areas with varying predecessors. (*Conclusions*) The developed software components will be subsequently integrated into the software package in the form of a *web* application. This application can serve as a support system for making informed managerial decisions in the realm of machine-based agricultural technologies. The software package facilitates the automation of technology selection, the creation of an annual work plan, and the computation of economic indicators.

Keywords: choice of crop production technologies, choice of technical means, software package, block diagram, software components.

■ **For citation:** Alt V.V., Isakova S.P. Planirovanie rabot pri vozdelevanii zernovykh kul'tur: programmnye komponenty [Optimizing work planning for grain crop cultivation: software components]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 12-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18. EDN: GQRORK.

Для развития сельского хозяйства очевидна необходимость его модернизации на основе имеющихся и непрерывно развивающихся научных достижений и внедрения цифровых технологий в рамках научно-технологической модели *Agriculture 4.0* [1, 2]. Наряду с этим актуальна разработка эффективных механизмов и структур их распространения (нейронные сети, Интернет вещей, беспилотные летательные аппараты и др.) [3]. Одна из приоритетных задач заключается в разработке и широком освоении наукоемких агротехнологий [4]. В условиях свободного рынка инновационных технологий и машин чрезвычайно важно обеспечить их правильный выбор в соответствии с агроэкологическими и другими особенностями сельскохозяйственных предприятий [5].

Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению производственным процессом сельскохозяйственных культур в агроэкоценозах с целью получения планируемого объема и качества урожая при обеспечении экологической безопасности и определенной экономической эффективности [6]. Специфика хозяйства обуславливает основные принципы использования агротехнологий: альтернативность, адаптированность к природным и хозяйственным условиям на основе экологической и физической оценки земель, динамический подход к созданию и управлению агроэкоценозами.

Для эффективного развития растениеводческих предприятий важны не только техническое и ресурсное оснащение, но и степень использования научных достижений, реализованных в технологических разработках, которые создают практическую основу информационного обеспечения производства при проектировании систем земледелия и формировании пакета агротехнологий [7, 8]. Информационное пространство должно целенаправленно формироваться

на основе информационных ресурсов всех уровней и обеспечивать ежегодное взаимосвязанное решение основных технологических и управленческих задач:

- выбор структуры и объемов производства;
- определение структуры севооборотов, культур и сортов, их оптимальное размещение;
- проектирование пакета технологий, адаптированных к природным, агротехнологическим и хозяйственным условиям предприятия.

Кроме того, важна дифференциация технологий по уровню интенсификации производства в зависимости от ресурсного потенциала [7]. При сравнительной оценке агротехнологий основными показателями являются: возделываемые сорта, агроклиматические и почвенно-ландшафтные условия, применение удобрений и средств защиты растений, способы обработки почвы, состав и состояние технических средств и пр. [9, 10].

Особенности природно-климатической зоны определяют специализацию хозяйства, соответственно, технологии возделывания культур, структуру посевных площадей, схемы севооборотов, виды и объем производственных операций, состав машинно-тракторного парка [11]. Соблюдение агротехнических сроков и качество работ напрямую зависят от обеспечения комплексной механизации производства. Для этого необходимо определить оптимальный состав машинно-тракторного парка, который обеспечит выполнение комплекса сельскохозяйственных работ в срок с наименьшими затратами [12]. Применение экономико-математических методов в совокупности с использованием информационных технологий позволяет одновременно учесть все экономические и агротехнические условия и найти лучшие варианты [13].

Цифровые информационные технологии в научных исследованиях стали основным инструментом решения оптимизационных многофакторных задач

[14, 15]. Цифровые технологии имеют широкие перспективы в связи со спецификой ведения сельского хозяйства, которая характеризуется значительной территориальной распределенностью, переходом на комплексную систему точного земледелия, потенциалом современных технических средств, большим объемом разнообразной информации о технологических процессах, сложными алгоритмами принятия стратегических и тактических решений и др.

Цель исследования. Разработать программные модули для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рациональной структуры машинно-тракторного парка (МТП) с учетом агроклиматических и производственных условий хозяйства, на основе которых возможна разработка программного комплекса в виде *web*-приложения, используемого при сопровождении машинных агротехнологий.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования рассматривался процесс выбора технологий и технических средств возделывания зерновых культур. Для разработки программных компонент *web*-комплекса по сопровождению годового планирования при возделывании зерновых культур использовался метод, основанный на оценке природно-климатической зоны и производственных условий. Разработана математическая модель с оценкой вариантов по расходу горюче-смазочных материалов (ГСМ), количеству механизаторов, производственным затратам [16]. Технологии и технические средства подбирали путем анализа постоянных и переменных факторов, влияющих на объект исследования: агроклиматическая зона, специализация хозяйства, конфигурация и площадь полей, состав МТП, виды и сорта культур, севооборот, потребность в средствах защиты растений, удобрениях и др.

Определено применение информационных технологий, которые базируются на математических алгоритмах и информационных моделях, поскольку современное сельское хозяйство ориентируется на точное измерение процессов при производстве продукции [17].

Результаты и обсуждение. Процесс планирования производства продукции растениеводства включает несколько этапов (*рис. 1*). Предварительно проводится выбор и оценка технологий и технологических приемов в зависимости от агроклиматического района, почвенного состава на рабочих участках, необходимого уровня интенсификации. Далее с помощью экономико-математической модели определяются рациональный состав машинно-тракторного парка, количество и наличие техники и механизаторов. Критерием является минимизация прямых эксплуатационных затрат, количества механизаторов и расхода ГСМ. Формируется список техники для выполнения объема работ в заданные агротехнические сро-

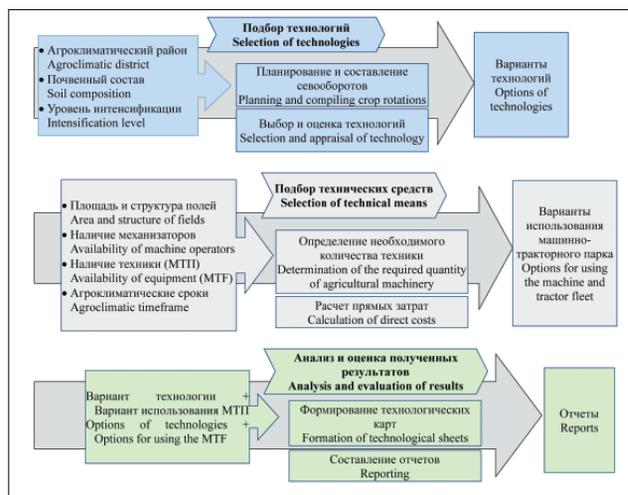


Рис. 1. Этапы планирования производства продукции растениеводства

Fig. 1. Stages of crop production planning

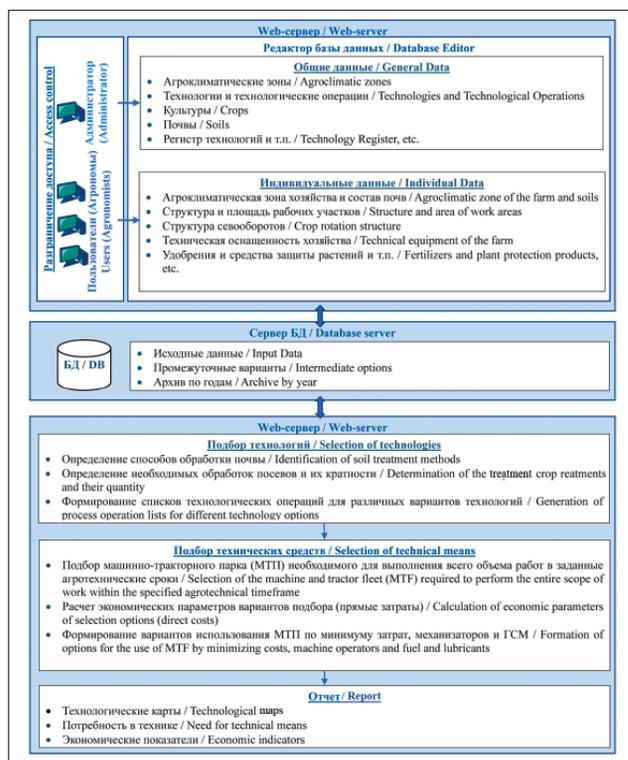


Рис. 2. Структурная схема программного комплекса по выбору технологий и технических средств в виде *web*-приложения

ки. На третьем этапе после анализа и оценки результатов составляются технологические карты и отчеты.

Для автоматизации выбора технологий и технических средств разработаны программные модули «Подбор технологий» и «Подбор технических средств», которые в дальнейшем войдут в программный комплекс в виде *web*-приложения. Структурная схема программного комплекса описывает взаимодействие этих программных модулей (*рис. 2*).

Все нормативно-технические данные и справочные сведения по хозяйству, в том числе промежуточные варианты технологий и технических средств, технологические карты, а также архивы по годам хранятся в базе данных.

Работу программных модулей по подбору технологий тестировали в 2022 году на примере сево-

ро-лесостепной зоны Новосибирской области с плакорными землями, дерново-подзолистыми и дерново-подзолистыми глеевыми почвами. Вариант технологий для возделывания пшеницы с нормальным уровнем интенсификации для четырех рабочих участков с разными предшественниками приведен в [таблице 1](#).

Таблица 1		Table 1	
РЕЗУЛЬТАТ ПОДБОРА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЙ / RESULT OF THE TECHNOLOGY OPTION SELECTION			
Вариант технологии / Technology options	Описание технологии / Technology description		
2022/Нормальный/Пшеница/Зерновые* / 2022/Normal/Wheat/Grain*			
Яровая пшеница по зерновым культурам Spring wheat by grain	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm		
	Культивация / Cultivation		
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – ранние / Spring sowing. Early timelines for sowing spring crops		
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds		
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops		
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning		
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping		
2022/Нормальный/Пшеница/Многолетние травы / 2022/Normal/Wheat/Perennial			
Яровая пшеница по многолетним травам Spring wheat by perennial herbs	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm		
	Культивация / Cultivation		
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – средние / Spring sowing. Average timelines for sowing spring crops		
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds		
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops		
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning		
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping		
2022/Нормальный/Пшеница/Пропашные / 2022/Normal/Wheat/Row			
Яровая пшеница по пропашным культурам Spring wheat by row crops	Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm		
	Культивация / Cultivation		
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – поздние / Late timelines for sowing spring crops		
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds		
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур / Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crops		
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning		
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping		
2022/Нормальный/Пшеница/Пар / 2022/Normal/Wheat/Steam			
Яровая пшеница по пару Spring wheat by fallow fields	Боронование зубowymi боронами пара и зяби / Harrowing fallow and fall-plowed lands		
	Культивация / Cultivation		
	Посев яровых. Сроки сева яровых культур – ранние / Sowing spring. Early timelines for sowing spring crops		
	Гербицидная обработка – опрыскивание посевов против злаковых сорняков Herbicide treatment – spraying crops against grassy weeds		
	Опрыскивание инсектицидами против вредителей генеративных органов зерновых культур / Insecticide spraying against pests of generative organs of grain crop		
	Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning		
	Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping		
*Наименование технологических карт в формате: Год/ Уровень интенсификации / Культура / Предшественник *Labeling the technological maps in the format: Year / Intensification level / Crop / Predecessor			

С помощью программного модуля для подбора технических средств сформирован вариант использования МТП применительно к агроклиматическим условиям расположения хозяйства, рельефности полей и наличия кадров. Для выбранного варианта технологий предложен машинно-тракторный парк следующего состава: тракторы *JD 8335R* – 4 ед., *JD 9470R* – 4 ед., *JD 4730* – 3 ед., комбайны *Harvester Acros-595 Plus* – 2 ед., *Harvester JD W650* – 2 ед.; сельскохозяйственная техника: плуг оборотный *Kverland RM100 8* – 3 ед., культиватор *Carrier 1225* – 2 ед., зерновые сеялки *Rapid-800* – 2 ед., *Rapid-600* – 1 ед., жатка *JD 625D* – 2 ед., зубовая борона *Degelman 7000* – 1 ед.

По результатам подбора техники формируются технологические карты, а также некоторые графики, такие как сводные затраты, загрузка техники, календарный график выполнения работ. Пример формирования технологической карты для одного рабочего участка представлен в [таблице 2](#).

Выводы. Показана целесообразность разработки программного комплекса для управления производством продукции растениеводства путем выбора агротехнологий и рационального использования имеющегося машинно-тракторного парка для повышения эффективности и конкурентоспособности растениеводческого предприятия на основе комплексного учета условий хозяйства, автоматизации интеллектуального труда и поддержки принятия решений оптимизационных задач.

Разработаны структурная схема программного комплекса в виде *web*-приложения и программные модули по выбору технологий и технических средств, имеющих общую базу данных и объединенный общий интерфейс. Разработанные программные компоненты в дальнейшем войдут в программный комплекс, который может использоваться при производстве продукции растениеводства в качестве системы поддержки принятия решений.

Таблица 2									
ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ / EXAMPLE OF FORMING A TECHNOLOGICAL MAP									
Технологическая операция, га / Process operation Объем работ / Work load, sq. ha	Сроки Time lines	Количество дней / Days	Состав агрегата Machine-tractor unit	Количество агрегатов Unit count	Затраты, руб./ Costs, RUR				Всего Overall
					Заработная плата Salary	ГСМ Fuel and lubricants	ТО и ремонт Maintenance and repair	Амортизация Depreciation	
Вспашка на глубину 20-22 см / Plowing at a depth of 20-22 cm									
800	06.05.2022 15.05.2022	10	<i>JD 8335R</i> <i>Kverland RM100 8</i>	3	150960	2046,528	960,3422	63082,36	217049,2
Культивация / Cultivation									
800	16.05.2022 25.05.2022	10	<i>JD 9470R</i> <i>Carrier 1225</i>	1	10368	60,18	121,7628	11043,98	21593,92
Посев яровых ранних / Spring sowing early									
800	16.05.2022 25.05.2022	10	<i>JD 9470R</i> <i>Rapid-800</i>	1	32960	80,58	182,5201	16322,47	49545,57
Гербицидная обработка / Herbicidal treatment									
800	26.05.2022 05.06.2022	11	<i>JD 4730</i>	1	9856	11,22	326,6704	48020	58213,89
Опрыскивание инсектицидами / Insecticide spraying									
800	06.06.2022 15.06.2022	10	<i>JD 4730</i>	1	9856	11,22	326,6704	48020	58213,89
Обкос полей и разбивка загонов / Field mowing and paddock partitioning									
80	01.09.2022 15.09.2022	15	<i>Acros-595 Plus</i>	1	2496	47,124	96,6674	14016,67	16656,46
Прямое комбайнирование с копнением соломы / Direct combining with straw heaping									
800	01.09.2022 15.09.2022	15	<i>JD W650</i> <i>JD 625D</i>	1	24960	107,1	188,0387	28102,56	53357,7

Программный комплекс позволит автоматизировать процесс подбора технологий, формирования годового плана работ, расчет экономических показателей, а также проанализировать варианты тех-

нологий и технических средств, что даст возможность агроному как специалисту, принимающему управленческие решения, выбрать тот или иной вариант.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Rose D.Ch., Wheeler R., Winter M., et al. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*. 2021. N100. 104933. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.
- Sharma R., Parhi S., Shishodia A. Industry 4.0 Applications in Agriculture: Cyber-Physical Agricultural Systems (CPASs). *Advances in Mechanical Engineering. Select Proceedings of ICAME 2020*. 2020. 807-813. DOI: 10.1007/978-981-15-3639-7_97.
- Hovhannisyanyan T., Efendyan P., Vardanyan M. Creation of a digital model of fields with application of DJI phantom 3 drone and the opportunities of its utilization in agriculture. *Annals of Agrarian Science*. 2018. N16(2). 177-180. DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
- Phillips P.W.B., Relf-Eckstein J.A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in Western Canadian agriculture. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. N90. 100295. DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.
- Кирюшин В.И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. N33(3). С. 5-10. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
- Talaviya T., Shah D., Patel N., et al. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. N4. 58-73. DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.04.002.
- Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // *Вестник Российской академии наук*. 2021. N91(8). С. 755-768. DOI: 10.31857/S0869587321080090.
- Riksen V., Maksimovich K., Kizimova T., et al. Elements of the decision support system in the agricultural production processes. *Agriculture Digitalization and Organic Production*. 2022. N331. 389-398. DOI: 10.1007/978-981-19-7780-0_34.
- Gosrev A.V., Pykhtin A.I., Semenova L. Program for the rational choice of highly cost-effective adaptive technology of grain cultivation for various conditions of the European part of the Russian Federation. *Journal of Applied Engineering Science*. 2020. N18(2). 216-221. DOI: 10.5937/jaes18-26312.
- Коновалова Л.К., Окорков В.В. Совершенствование классификации агротехнологий (структурно-модульный подход) // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2019. N3(59). С. 101-112.
- Пустовалова К.А. Формирование машинно-тракторного парка в региональном АПК // *Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследования*. 2017. N28. С. 172-176. EDN: ZTTZLP.
- Гаджиев П.И., Кулаков К.В., Рамазанова Г.Г. и др. Математическая модель формирования рационального парка машин для сельскохозяйственных работ // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2022. N41(46). С. 99-103. EDN: ALNPMC.
- Катаев Ю.В., Малыха Е.Ф. Экономическое обоснование оптимального состава машинно-тракторного парка в сельскохозяйственном производстве // *Наука без границ*. 2020. N11 (51). С. 35-41. EDN: BXSWOZ.
- Коковихин С.В., Биднина И.А., Шарий В.А. и др. Оптимизация агротехнологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с использованием информационных технологий // *Почвоведение и агрохимия*. 2020. N2(65). С. 63-71. EDN: UKVMTP.
- Kulmatova S., Khatamov O., Yusupova D. Issues of digitalization of machine and tractor fleets in agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. N401. 04047. DOI: 10.1051/e3sconf/202340104047.
- Альт В.В., Балущкина Е.А., Исакова С.П. Математическая модель по выбору технологий возделывания зерновых культур // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. N50(2). С. 92-99. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-11.
- Yadrovskaya M.V. Revisiting computer modeling. *Advanced Engineering Research*. 2020. N20(3). 332-345. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-332-345.

REFERENCES

- Rose D.C., Wheeler R., Winter M., et al. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*. 2021. N100. 104933 (In English). DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.
- Sharma R., Parhi Sh., Shishodia A. Industry 4.0 Applications in agriculture: cyber-physical agricultural systems (CPASs). *Advances in Mechanical Engineering. Select Proceedings of ICAME 2020*. 2020. 807-813 (In English). DOI: 10.1007/978-981-15-3639-7_97.
- Hovhannisyanyan T., Efendyan P., Vardanyan M. Creation of a digital model of fields with application of DJI phantom 3 drone and the opportunities of its utilization in agriculture. *Annals of Agrarian Science*. 2018. N16(2). 177-180 (In English). DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.006.
- Phillips P.W.B., Relf-Eckstein J.-A., Jobe G., Wixted B. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019. N90. 100295 (In English). DOI: 10.1016/j.njas.2019.04.001.

5. Kiryushin V.I. Nauchno-innovatsionnoe obespechenie prioritetrov razvitiya sel'skogo khozyaistva [Scientific and innovative support of priorities of agricultural development]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. N33(3). 5-10 (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
6. Talaviya T., Shah D., Patel N., et al. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. N4. 58-73 (In English). DOI: 10.1016/j.aiaa.2020.04.002.
7. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu., et al. Informatsionnoe obespechenie sovremennykh sistem zemledeliya v Rossii [Information support of modern farming systems in Russia]. *Vestnik Rossiiskoy akademii nauk*. 2021. N91(8). 755-768 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869587321080090.
8. Riksen V., Maksimovich K., Kizimova T., et al. Elements of the decision support system in the agricultural production processes. *Agriculture Digitalization and Organic Production*. 2022. N331. 389-398 (In English). DOI: 10.1007/978-981-19-7780-0_34.
9. Gostev A.V., Pykhtin A.I., Semenova L. Program for the rational choice of highly cost-effective adaptive technology of grain cultivation for various conditions of the European part of the Russian Federation. *Journal of Applied Engineering Science*. 2020. N18(2). 216-221 (In English). DOI: 10.5937/jaes18-26312.
10. Konovalova L.K., Okorkov V.V. Sovershenstvovanie klassifikatsii agrotekhnologii (strukturno-modul'nyy podkhod) [Development of classification of agrotechnologies (structural and modular approach)]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. 2019. N3(59). 101-112 (In Russian).
11. Pustovalova K.A. Formirovanie mashinno-traktornogo parka v regional'nom APK [Establishing a machine and tractor fleet in the regional agro-industrial complex]. *Novoe slovo v nauke i praktike: gipotezy i aprobatsiya rezul'tatov issledovaniya*. 2017. N28. 172-176 (In Russian). EDN: ZTTZLP.
12. Gadzhiev P.I., Kulakov K.V., Ramazanova G.G., et al. Matematicheskaya model' formirovaniya ratsional'nogo parka mashin dlya sel'skokhozyaistvennykh rabot [Mathematical model of the formation of a rational fleet of machines for agricultural work]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*. 2022. N41(46). 99-103 (In Russian). EDN: ALNPMC.
13. Kataev Yu.V., Malykha E.F. Ekonomicheskoe obosnovanie optimal'nogo sostava mashinno-traktornogo parka v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Economic justification of the optimal composition of the machine and tractor fleet in agricultural production]. *Nauka bez granits*. 2020. N11(51). 35-41 (In Russian). EDN: BXSWOZ.
14. Kokovikhin S.V., Bedina I.A., Shariy V.A., et al. Optimizatsiya agrotekhnologicheskogo protsessa vozdevyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy [Agrophysical optimization of agrotechnological process of cultivation of agricultural crops on irrigated lands using GIS-technologies]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2020. N2(65). 63-71 (In Russian). EDN: UKVMTP.
15. Kulmatova S., Khatamov O., Yusupova D. Issues of digitalization of machine and tractor fleets in agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. N401. 04047 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202340104047.
16. Al't V.V., Balushkina E.A., Isakova S.P. Matematicheskaya model' po vyboru tekhnologii vozdevyvaniya zernovykh kul'tur [Mathematical model for choosing grain crops cultivation technologies]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaistvennoy nauki*. 2020. N50(2). 92-99. (In Russian). DOI: 10.268-98/0370-8799-2020-2-11.
17. Yadrovskaya M.V. Revisiting computer modeling. *Advanced Engineering Research*. 2020. N20(3). 332-345 (In English). DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-332-345.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Алт В.В. – научное руководство, обоснование актуальности исследования, постановка проблемы, формулирование основных направлений исследований, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования;

Исакова С.П. – литературный анализ, разработка структурной схемы программного комплекса, алгоритмов программных модулей, разработка программного кода ПО, визуализация интерфейса программных модулей, обработка результатов исследований, формирование общих выводов, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Alt V.V. – scientific guidance, substantiation of the research relevance, problem statement, formulation of the research main directions, manuscript proofreading;

Isakova S.P. – literature review, development of the structural scheme for a software package, and algorithms for software modules, development of software code, visualization of the interface for software modules, research results processing, formation of general conclusions, manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

05.10.2023

27.11.2023

Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях

Мухтар Ахмиевич Керимов,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: martan-rs@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Отметим сложности функционирования многопараметрических систем вследствие разной природы связей их звеньев. Рассмотрен частный случай биотехнологической системы «оператор-машина-животное», реализуемой в операциях машинного доения. Она включает в себя три подсистемы: две имеют биологическую природу и являются вероятностными, а доильная установка – звено неживой природы следует рассматривать как детерминированную техническую подсистему. (*Цель исследования*) Обосновать концептуальный подход к функционированию биотехнической системы «оператор-машина-животное» с учетом закономерностей взаимодействия подсистем. (*Материалы и методы*) Изучили условия функционирования биотехнических систем, которые носят случайный характер (в вероятностно-статистическом смысле). Установили, что факторов, влияющих на процесс функционирования таких систем, значительно больше, чем на «человеко-машинную» систему. Биотехническая система в целом остается стохастической, а алгоритмы ее управления носят вероятностный характер. Исследования проводили путем оценки результатов, полученных при статистической обработке экспериментальной информации, применения методов и методик математического моделирования технологических процессов, изучения основных направлений создания интеллектуальных цифровых технологий. (*Результаты и обсуждение*) Применение концепции адаптивного управления обеспечивает гарантированное достижение конечных целей с высокой вероятностью. Разработали модель функционирования системы «оператор-машина-животное». Обоснование эффективности взаимодействия подсистем «машина» и «животное» выполнено на примере аппарата линейного доения *DeLaval™ DelPro MU480*. Разработали структурную схему системы управления «оператор-машина». Провели оценку эффективности оператора машинного доения. Описали математическую модель ошибок, допускаемых оператором. Предложили критерии, характеризующие эксплуатационную надежность системы «оператор-машина». (*Выводы*) Границы эффективности многосвязной биотехнической системы определяются зоной адаптационного максимума. Представлена математическая модель, описывающая производительность оператора машинного доения. Профессиональная устойчивость оператора как адаптивного, стохастического звена зависит от индивидуальных особенностей и условий труда, которые целесообразно оценивать статистически. В качестве перспективного направления исследований указана адаптационная концепция. Инженерные решения в отношении процесса доения коров должны базироваться на практических знаниях этологии животных, формализованных в виде логико-лингвистических моделей.

Ключевые слова: системный анализ, моделирование, биотехническая система, функционирование, животноводство, линейная доильная установка, технологическая надежность, адаптационная концепция.

■ **Для цитирования:** Керимов М.А. Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 19-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-19-25. EDN: UZRJUA.

Development and Use of Biotechnological System Models in Applied Scientific Research

Mukhtar A. Kerimov,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: martan-rs@yandex.ru

Saint-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the difficulties of functioning in multi-parameter systems due to the diverse nature of their link connections. The paper examines a specific case of an «operator-machine-animal» biotechnological system employed in

the context of machine milking operations. The system includes three subsystems: two of them have a biological nature and exhibit probabilistic behavior, while the milking machine, serving as a connecting element with inanimate characteristics, is to be regarded as a deterministic technical subsystem. (*Research purpose*) The research aims to substantiate the conceptual approach to the functioning of an «operator-machine-animal» biotechnical system, taking into account the subsystem interaction patterns. (*Materials and methods*) The paper explores the conditions governing the operation of biotechnical systems characterized by inherent randomness (in the probabilistic-statistical sense). It was determined that the operation of such a system is influenced by a significantly greater number of factors compared to the «man-machine» system. The biotechnical system as a whole remains stochastic, while its control algorithms maintain a probabilistic nature. The study was conducted by assessing the results obtained through statistical analysis of experimental data, employing methods and techniques of mathematical modeling for technological processes, and exploring key avenues for the development of intelligent digital technologies. (*Results and discussion*) The utilization of adaptive control principles ensures a high probability of successfully attaining the ultimate objectives. A model for an «operator-machine-animal» system functioning has been developed. The rationale for the efficacy of the interaction between the «machine» and «animal» subsystems is illustrated through the case study of the DeLaval™ DelPro MU480 linear milking machine. A block scheme for the «operator-machine» control system was developed. The performance of the machine milking operator was assessed. A mathematical model detailing the operator's errors was outlined. Criteria for ensuring the operational reliability of the «operator-machine» system were introduced. (*Conclusions*) The efficiency of a multiply connected biotechnical system is constrained by the zone of maximum adaptation. A mathematical model is provided to describe the functioning of a machine milking operator. The professional stability of an operator, acting as an adaptive and stochastic component, depends on individual attributes and working conditions that need statistical evaluation. The adaptation concept is indicated as a promising area of research. Engineering decisions about the cow milking process are to be based on practical insights into animal ethology, formalized through logical-linguistic models.

Keywords: system analysis, modeling, biotechnological system, functioning, animal husbandry, linear milking machine, technological reliability, adaptive concept.

■ **For citation:** Kerimov M.A. Razrabotka i ispol'zovanie modeley biotekhnologicheskikh sistem v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh [Development and use of biotechnological system models in applied scientific research]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 19-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-19-25. EDN: UZRJUA.

На крупных молочно-товарных комплексах с современной машинной технологией и поточностью производства возникает необходимость применения автоматизированных систем управления, позволяющих наиболее полно и эффективно использовать оборудование, повысить продуктивность молочного стада, улучшить условия труда. Однако качество функционирования таких систем ввиду их многообразия часто ниже потенциально возможного уровня.

Методы моделирования в агроинженерных приложениях стали использоваться с началом разработки основных положений статистической земледельческой механики и формирования концепции поточно-технологических линий в животноводстве [1]. Широкое применение получили модели, базирующиеся как на аналитических соотношениях, так и на имитационных алгоритмах.

Задачи, связанные с оптимизацией сложных систем, характеризуются многокритериальностью, динамичностью, асинхронностью процессов, вызванной отказами подсистем и вероятностной природой условий функционирования. Особенности сложных систем, прежде всего биотехнических, требуют использования разнообразных методов и средств моделирования как при определении качества и эффектив-

ности существующих систем, так и при разработке их новых вариантов [2].

На конструктивном уровне до конца не решена проблема формального описания сложных систем и процессов их функционирования в динамически изменяющейся обстановке. В связи с этим обоснование направлений повышения эффективности машинных технологий в животноводстве представляет актуальную научно-техническую задачу [3].

Цель исследования – обоснование концептуального подхода к функционированию биотехнической системы «оператор-машина-животное» («О-М-Ж») с учетом закономерностей взаимодействия ее подсистем, определение между ними оптимальных связей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Производственный процесс доения коров рассматривается в виде стохастической биотехнической системы, функционирующей в изменяющейся обстановке. Модель ее функционирования представлена на *рисунке 1*.

Структура системы характеризуется неодинаковой природой связей, возникающих между технической («машина») и биологическими («оператор», «животное») подсистемами. Получение высокой продуктивности обусловлено управляемостью процессов, формализованных в виде стандартов машинного доения [4].

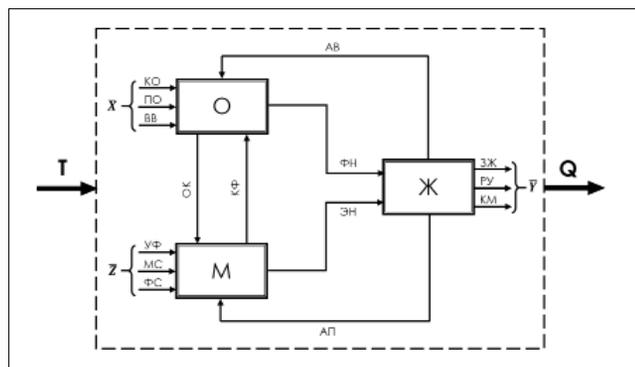


Рис. 1. Модель функционирования биотехнологической системы «О-М-Ж»: T – машинная технология доения коров; Q – показатель качества; \bar{X} – вектор-функция факторов, характеризующих профессиональную устойчивость оператора; КО – квалификация оператора; ПО – производительность оператора; ВВ – внешние воздействия; ОК – оперативный контроль технологического процесса; ФН – функциональная надежность оператора; \bar{Z} – вектор-функция входных воздействий на доильную установку (объект управления); УФ – условия функционирования доильной установки; МС – морфологическая структурность качества доильной установки; ФС – функциональная структурность качества установки; КФ – качество функционирования установки (объекта управления); ЭН – эксплуатационная надежность доильной установки; \bar{Y} – вектор-функция выходных параметров; ЗЖ – здоровье животного; РУ – продуктивность (разовый удой); КМ – качество молока; АВ – адаптационные возможности организма животного (приспособленность к машинному доению); АП – анатомоморфологические показатели животного

Fig. 1. Diagram for the functioning an «operator-machine-animal» biotechnological system: T – the cow milking machine technology; Q – quality indicator; \bar{X} – a vector-valued function representing factors that characterize the operator's professional stability; КО – the operator's qualification; ПО – the operator's productivity; ВВ – external influences; ОК – operational management of the technological process; ФН – the operator's functional reliability; \bar{Z} – a vector-valued function representing input actions applied to the milking machine (control object); УФ – the milking machine operation conditions; МС – the morphological structure of the milking machine quality; ФС – the functional structure of the milking machine quality; КФ – the quality the milking machine functioning (object of control); ЭН – the milking machine operational reliability; \bar{Y} – a vector-valued function representing the output parameters; ЗЖ – the animal health; РУ – productivity (one-time milk yield); КМ – milk quality; АВ – adaptive capabilities of the animal's body (adaptability to machine milking); АП – the animal's anatomical and morphological characteristics

Особую роль играют биологические факторы, поскольку организм животных может приспособиться к условиям рабочей среды, но в определенной степени. Физиологическое равновесие системы сохраняется до тех пор, пока действие внешних раздражителей не превышает адаптационные возможности организма животного.

Эффективное функционирование системы «О-М-Ж» обусловлено взаимосвязями между оператором и средой воздействия, к которой относится доильная установка, животное, а также получаемая продукция. При возникновении отказов в технической подсистеме у оператора есть возможность устранить последствия, целенаправленно воздействуя на животное.

Показателем качества Q функционирования системы является ее производительность, выраженная количеством выдоенного молока.

Производительность работы оператора, как резервирующего звена функций системы управления технологическим процессом доения, зависит от индивидуальных качеств (квалификации, психофизиологических особенностей) и условий труда (своевременности предоставления информации об отказе функции, загруженности другими обязанностями, наличия временного резервирования для выполнения анализируемой функции). Основное требование, предъявляемое к работе дояра, – оперативность, критериями которой являются время восприятия, оценка ситуации и принятие решения.

Принятие решения, как правило, должно опираться на информацию прогностического характера. В сферу оперативного контроля вовлекаются различные факторы, отслеживание которых предъявляет повышенные требования к точности и достоверности получаемой информации [5]. Основные задачи оперативного контроля – идентификация состояний доильной установки и принятие решения о ее дальнейшей эксплуатации по мере оценки ключевых параметров (здоровье животного – ЗЖ, разовый удой – РУ, качественные показатели молока – КМ) и вычисления показателя качества функционирования системы Q [2, 6].

Надежность системы «О-М-Ж» определяется состоянием доильного оборудования, технологией доения, анатомоморфологическими показателями животного. Производственный процесс доения как система вероятностного характера может отклоняться в ту или иную сторону. Поэтому всегда нужно принимать соответствующие меры, чтобы отклонения не превышали регламентированные технологические границы.

Технологические допуски в этом случае устанавливаются исходя из зоотехнических требований. Согласно ГОСТ 28545-90 «Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика» (ISO 5707:83 «Milking machine installations – Construction and performance») доильная установка должна функционировать в строгом соответствии с моделью молокоотдачи. Продолжительность операций от надевания доильных стаканов до начала максимальной молокоотдачи составляет 30 секунд. Период максимальной молокоотдачи при скорости потока молока 5 л/мин занимает 120 секунд [6, 7].

Правильность выполнения технологических процессов обусловлена функциональной надежностью оператора и эксплуатационной надежностью доильной установки. Выходными показателями эффективности системы «О-М-Ж» служат здоровье и продуктивность коров, жирность и качественные показатели молока, в конечном итоге – производительность труда.

Метод имитационного моделирования позволяет путем изменения входных и выходных управляемых параметров в пределах имеющихся ресурсов и прогнозирования «поведения» рабочей среды получать доверительные данные для выбора стратегии повышения эффективности производственных систем [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При исследовании биотехнической системы как объекта управления необходимо учитывать ее характерные особенности. Важнейшая особенность состоит в том, что система способна выполнять конкретные функции, с одной стороны, а с другой, – несет в себе определенную сумму затрат (издержек). Следовательно, с позиций качества функционирования систему необходимо оценивать по уровню технологической надежности и показателям экономической эффективности.

Модель системы с учетом максимального экономического эффекта:

$$G_i(R) = \Xi_i(R) - \mathcal{Z}_i(R) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где R – показатель технологической надежности системы, зависящий от выбранного i -го варианта ($i = 1, n$);

$\Xi_i(R)$ – показатель экономического эффекта от применения i -го варианта системы (объекта) при уровне технологической надежности R ;

$\mathcal{Z}_i(R)$ – затраты на обеспечение заданного уровня технологической надежности R .

Для каждого варианта системы оптимальное решение находят из условия:

$$\frac{\delta \Xi_i(R)}{\delta(R)} = \frac{\delta \mathcal{Z}_i(R)}{\delta(R)}. \quad (2)$$

Технологические показатели эффективности системы отражают изменение количества и качества производимой продукции вследствие применения средств оперативного контроля и управления технологическим процессом. Показатели, которые характеризуют экономический эффект, учитываются в единицах, определяющих степень соответствия затрат на автоматизацию биотехнической системы результатам ее функционирования.

Эффективность взаимодействия подсистем «машина» и «животное» исследована на примере доения коров с применением аппарата линейного типа *DeLaval™ DelPro MU480* (рис. 2).

Аппарат сконструирован таким образом, что в автоматическом режиме его рабочие параметры (подача вакуума) согласуются с параметрами молокоотдачи (скорость доения), поведенческими и физиологическими

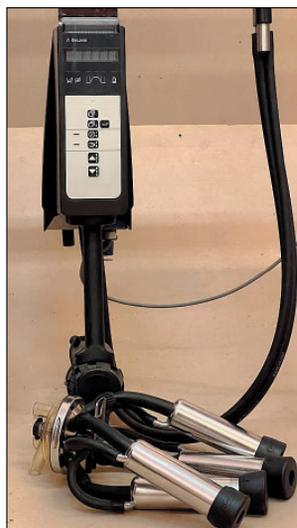


Рис. 2. Доильный аппарат DeLaval™ DelPro MU480
Fig. 2. DeLaval™ DelPro MU480 milking machine

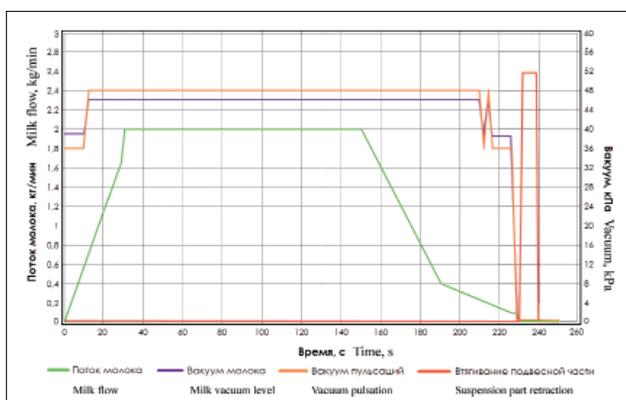


Рис. 3. Алгоритм функционирования автоматического доильного аппарата DeLaval™ DelPro MU480

Fig. 3. Functioning algorithm of DeLaval™ DelPro MU480 automatic milking machine

ческими (рефлекс молокоотдачи) особенностями животных. Благодаря этому «сухое» доение, следовательно, риск возникновения мастита исключены. Схема процесса доения, изменения уровней вакуума молока и молокоотдачи показана на рисунке 3.

В начале доения вакуум молока и вакуум пульсации не максимальные. Поток молока также увеличивается постепенно, что смягчает режим доения. Далее аппарат выходит на уровень максимальной продуктивности, когда поток молока, вакуум пульсации и вакуум молока наибольшие. Затем поток молока уменьшается, вакуум пульсации и вакуум молока резко падает. В конце происходит скачок вакуума до максимума и до нуля. Только после прекращения доения подвесная часть аппарата втягивается, уровень вакуума достигает максимума, задерживается на 30 секунд и снова падает до нуля.

Профессиональная устойчивость оператора, как было указано выше, зависит от его индивидуальных особенностей и условий труда, которые целесообразно оценивать статистически. Условия труда изменяются случайным образом (в вероятностно-статисти-

ческом смысле). Такая постановка задачи позволяет определить количественные характеристики профессиональной устойчивости оператора [9, 10].

Производительность оператора рассматривается как случайная функция вектора внешнего воздействия B . Ограничимся рассмотрением возможных реализаций случайной функции $B(x)$ линейными функциями. В первом приближении зависимость между случайными величинами можно записать:

$$B = B_0 + U \cdot \Delta X, \quad (3)$$

где B_0 – производительность при неслучайном стандартном внешнем воздействии (является случайной величиной);

U – коэффициент, характеризующий изменение производительности при единичном изменении внешнего воздействия в точке $x = x_0$, является случайной величиной, которую будем интерпретировать как «чувствительность к внешнему воздействию»;

ΔX – случайная величина, рассматривается как отклонение внешнего воздействия от стандартного.

Математическое ожидание производительности:

$$\begin{aligned} m_b &= m_{b_0} + m_u \cdot m_{\Delta X}, \\ \delta_b^2 &= \delta_{b_0}^2 + (\delta_x^2 + m_{\Delta X}^2) \cdot \delta_u^2 + \\ &+ m_u^2 \cdot \delta_x^2 + 2m_{\Delta X} \cdot R_{b_0 u}, \end{aligned} \quad (4)$$

где m_{b_0} и $\delta_{b_0}^2$ – математическое ожидание стандартной производительности;

m_u и δ_u^2 – математическое ожидание дисперсия чувствительности к внешнему воздействию;

$R_{b_0 u}$ – момент связи случайных величин B_0 и U ;

δ_x^2 – дисперсия отклонения внешнего воздействия от стандартного значения.

Возможное значение производительности b_0 ограничено нижним пределом допустимого интервала. К выполнению функций оператора допускаются работники, для которых значение производительности больше некоторой границы b_1 . Кроме того, существует верхняя граница b_2 , обусловленная физиологическими возможностями человека (оператора).

Поэтому на практике необходимо рассматривать усеченное нормальное распределение производительности:

$$\bar{f}(b_0) = cf(b_0) = \frac{c}{\delta_{b_0} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(b_0 - m_{b_0})^2}{2\delta_{b_0}^2} \right], \quad (5)$$

где m_{b_0} – среднее значение;

δ_{b_0} – среднее квадратическое отклонение производительности.

Нормирующий множитель c учитывает усеченность распределения, его можно определить из условия, что площадь под кривой распределения равна единице:

$$c \int_{b_1}^{b_2} f(b_0) db_0 = 1. \quad (6)$$

Таким образом, производительность оператора машинного доения можно приблизительно охарактеризовать: средним значением m_{b_0} , среднее квадратическим отклонением δ_{b_0} , математическим ожиданием чувствительности к внешнему воздействию m_u , среднее квадратическим отклонением чувствительности к внешнему воздействию δ_u , моментной функцией связи случайных величин B_0 и U , иногда величинами b_1 и b_2 .

Оператор (звено системы управления) выполняет функции измерителя рассогласования $\theta(t)$. Его задача удерживать разность между $X(t)$ и $Y(t)$ вблизи нулевого значения (рис. 4).

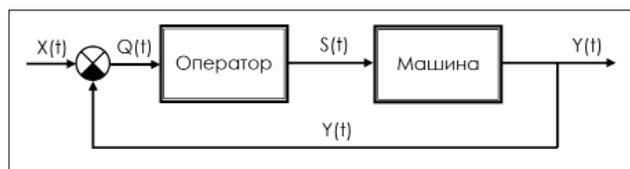


Рис. 4. Структурная схема системы управления «оператор-доильная машина»: $X(t)$ – вектор-функция внешних воздействий; $Y(t)$ – вектор-функция выходных величин объекта управления; $Q(t)$ – разность между $X(t)$ и $Y(t)$, т.е. рассогласование; $S(t)$ – выходная величина человека-оператора

Fig. 4. Structural diagram of an «operator-milking machine» control system: $X(t)$ – a vector-valued function representing factors that characterize external influences; $Y(t)$ – a vector-valued function representing the output values of the control object; $Q(t)$ – the difference between $X(t)$ and $Y(t)$, i.e. mismatch; $S(t)$ – the output value of the human operator

Основными критериями эффективности (производительности) функционирования системы «О-М», которые зависят от деятельности оператора, являются показатель безошибочности $R_{б_0}$ и показатель своевременности $R_{св}$ решения возникающих задач.

Показатель безошибочности оценивается вероятностью правильного решения задачи. В основе такой оценки лежит понятие «ошибка» (нарушение предписанного оператору алгоритма деятельности). По последствиям ошибки могут быть неаварийными и аварийными. Для рассматриваемой человеко-машинной системы, функционирующей в составе биотехнической системы «О-М-Ж», наиболее характерны неаварийные ошибки. Введение в рассмотрение указанных ошибок связано с возможностью самоконтроля оператором своих действий и их исправлением.

При оценке эффективности (расчете показателя своевременности) функционирования системы «О-М» представляется целесообразным учитывать суммарно время обнаружения ошибки и время исправления ошибочных действий оператора.

Показатель своевременности выражается зависимостью:

$$P_{св} = P\{\tau < T\} = \int_0^T f(\tau) d\tau, \quad (7)$$

где $f(t)$ – плотность распределения суммарного (с учетом ошибочных действий) времени решения задачи оператором;

T – время, отводимое на доение одной коровы.

Таким образом, оценка эффективности деятельности оператора в системе «О-М» осуществляется на основе двух показателей: вероятности безошибочной работы и вероятности своевременности функционирования системы.

Объективная оценка показателей и позволяет определить общую эффективность (эксплуатационную надежность) такой системы:

$$W_{\text{ом}} = P_{\text{бо}} \cdot P_{\text{св}}. \quad (8)$$

В качестве математической модели ошибок (аварийных и неаварийных), допускаемых оператором при функционировании системы «О-М», принято дискретное двумерное распределение вероятностей:

$$\begin{aligned} P_{nm} &= P_{nm}(r = n, k = m), \\ r &= 0, 1, 2, \dots, n; \\ k &= 0, 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (9)$$

где r – число неаварийных ошибок, допущенных оператором в том же цикле функционирования системы «О-М»;

k – число аварийных ошибок, допущенных оператором в том же цикле функционирования системы «О-М».

Выводы

- Человек-оператор представляет собой адаптивное, стохастическое, прогнозирующее, импульсное звено с запаздыванием. Способность экстраполировать и входной сигнал, и поведение управляемого объекта важна для выбора и оптимизации режимных параметров поточно-технологических линий.

- Чтобы использовать практические знания в области этологии сельскохозяйственных животных при принятии решений, необходимо их формализовать. На основе обобщенных логико-лингвистических моделей можно формализовать знания специалистов-животноводов в рассматриваемой предметной области. Формализованные знания допускают обобщение, оценку их адекватности, точности и объективности. Цифровые технологии базируются на формализованных знаниях.

- Многосвязная биотехническая система «оператор-машина-животное» в процессе функционирования должна находиться в зоне адаптационного максимума. Адаптационная концепция предусматривает достижение гарантированных результатов функционирования системы в условиях неопределенности исходной информации и динамически изменяющейся обстановки.

- Обеспечение технологической надежности сложных систем является частью более общей проблемы повышения эффективности их функционирования, причем уровень технологической надежности в значительной степени определяет эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N 6(264). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
2. Керимов М.А., Валге А.М. Оптимизация и принятие решений в агроинженерии. М.: Колос-с. 2021. 460 с. EDN: GOIVYS.
3. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. Л.: Агропромиздат. 1985. 640 с.
4. Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Павкин Д.Ю. Разработка автоматизированного и роботизированного комплекса машин и оборудования с интеллектуальными цифровыми технологиями для развития молочного животноводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. N2(46). С. 24-31. DOI: 10.51794/27132064-2022-2-24. EDN: XJETVQ.
5. Петрова О.Г., Усевич В.М., Мильштейн И.М., Сибиряков М.М. Влияние цифровизации на развитие отечественного животноводства // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. N1. С. 48-54. DOI: 10.32651/201-48. EDN: BYOICG.
6. Морозов Н.М., Хусаинов И.И., Варфоломеев А.С. Эффективность применения робототехнических систем в животноводстве // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N1 (33). С. 57-62. EDN: ZAIRBJ.
7. Бакач Н.Г., Башко Ю.А., Ступчик И.А. Техно-технологические аспекты применения инновационных технологий на молочно-товарных фермах и комплексах Республики Беларусь // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. N4 (28). С. 108-116. EDN: UZMCVT.
8. Германович А.Г., Шайкин В.В., Шевченко Т.В., Горбунов В.С. Проблемы цифровой трансформации производства молока // *Московский экономический журнал*. 2022. Т. 7. N12. С. 22-25. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_12_41. EDN: QORADL.
9. Кублин И.М., Найденков В.И., Ивер Н.Н. Проблемы и перспективы молочного животноводства: вектор инновационного развития // *Актуальные проблемы экономики и менеджмента*. 2022. N4 (36). С. 61-70. EDN: HRNOZJ.
10. Загидуллин Л.Р., Хисамов Р.Р., Шайдуллин Р.Р. Цифровизация молочного скотоводства на примере системы роботизированного доения // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N4 (44). С. 17-22. DOI: 10.51794/27132064-2021-4-17. EDN: MWNKZG.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitiye intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6 (264). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
2. Kerimov M.A., Valge A.M. Optimizatsiya i prinyatie resheniy v agroinzhenerii [Optimization and decision making in agricultural engineering]. Moscow: Kolos-s. 2021. 460 (In Russian). EDN: GOIVYS.
3. Mel'nikov S.V. Tekhnologicheskoe oborudovanie zhivotnovodcheskikh ferm i kompleksov [Technological equipment for livestock farms and complexes]. Leningrad: Agropromizdat. 1985. 640 (In Russian).
4. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., Pavkin D.Yu. Razrabotka avtomatizirovannogo i robotizirovannogo kompleksa mashin i oborudovaniya s intellektual'nymi tsifrovymi tekhnologiyami dlya razvitiya molochnogo zhivotnovodstva [Design of automated and robotic machines' complex and intelligent digital technologies' equipment for dairy farming development]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2022. N2 (46). 24-31 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2022-2-24. EDN: XJETVQ.
5. Petrova O.G., Usevich V.M., Mil'shteyn I.M., Sibiryakov M.M. Vliyaniye tsifrovizatsii na razvitiye otechestvennogo zhivotnovodstva [Influence of digitalization on the development of domestic livestock production]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2020. N1. 48-54 (In Russian). DOI: 10.32651/201-48. EDN: BYOICG.
6. Morozov N.M., Khusainov I.I., Varfolomeev A.S. Effektivnost' primeneniya robototekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve [The livestock robotic systems' using efficiency]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2019. N1(33). 57-62 (In Russian). EDN: ZAIRBJ.
7. Bakach N.G., Bashko Yu.A., Stupchik I.A. Tekhniko-tekhnologicheskie aspekty primeneniya innovatsionnykh tekhnologiy na molochno-tovarnykh fermakh i kompleksakh respublik Belarus' [Technical and technological aspects of applying innovative technologies on dairy farms and complexes in the Republic of Belarus]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017. N4(28). 108-116 (In Russian). EDN: UZMCVT.
8. Germanovich A.G., Shaykin V.V., Shevchenko T.V., Gorbunov V.S. Problemy tsifrovoy transformatsii proizvodstva moloka [Problems of digital transformation of milk production]. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal*. 2022. Vol. 7. N12. 22-25 (In Russian). DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_12_7_41. EDN: QORADL.
9. Kublin I.M., Naydenkov V.I., Iver N.N. Problemy i perspektivy molochnogo zhivotnovodstva: vektor innovatsionnogo razvitiya [Problems and prospects of dairy farming: the vector of innovative development]. *Aktual'nye problemy ekonomiki i menedzhmenta*. 2022. N4(36). 61-70 (In Russian). EDN: HRNOZJ.
10. Zagidullin L.R., Khisamov R.R., Shaydullin R.R. Tsifrovizatsiya molochnogo skotovodstva na primere sistemy robotizirovannogo doeniya [Digitization of dairy cattle breeding: the case of a robotic milking system]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2021. N4 (44). 17-22 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-4-17. EDN: MWNKZG.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

03.07.2023
14.08.2023

Механизация, автоматизация, роботизация, цифровизация: уточнение и систематизация понятий

Валерий Михайлович Коротченя,
кандидат экономических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: valor99@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Поставили проблему о необходимости уточнения научной терминологии для обозначения вытеснения человека из технической системы: таких понятий, как «механизация», «автоматизация», «роботизация», «цифровизация», которые используются в научной литературе без четкого установления их сущности и различий. (*Цель исследования*) Уточнить и систематизировать термины, используемые для описания вытеснения человека из технических систем сельскохозяйственного назначения. (*Материалы и методы*) Применили теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), теорию принятия решений, системный метод. (*Результаты и обсуждение*) Уточнили значения понятий механизации, автоматизации, роботизации, цифровизации. Разработали их классические (аристотелевские) определения. Систематизировали широкий круг понятий: механизация, автоматизация, роботизация, интеллектуализация, цифровизация, киберфизическая система, точное сельское хозяйство, цифровое сельское хозяйство, умное (интеллектуальное) сельское хозяйство. Сравнили полученные результаты с подходом Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. (*Выводы*) Исключили из понятия механизации ведение сельского хозяйства на основе ручных средств труда и тягловой силы животных (в отличие от подхода ФАО). Установили, что роботизация требует интеллектуализации, а автоматизация – нет. Показали, что цифровизация является средством реализации автоматизации, роботизации, интеллектуализации, оптимизации работы технических систем.

Ключевые слова: механизация, автоматизация, роботизация, интеллектуализация, цифровизация, киберфизическая система, идеальная техническая система, структурированные решения, неструктурированные решения, сельское хозяйство.

■ **Для цитирования:** Коротченя В.М. Механизация, автоматизация, роботизация, цифровизация: уточнение и систематизация понятий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 26-34. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-26-34. EDN: BWOFAY.

Mechanization, Automation, Robotization and Digitalization: Conceptual Clarification and Systematization

Valeriy M. Korotchenya,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: valor99@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the importance of clarifying scientific terminology to delineate the exclusion of humans from technical systems, in particular the concepts such as «mechanization,» «automation,» «robotization,» and «digitalization» that are commonly used in scientific literature without a precise definition of their essence and distinctions. (*Research purpose*) The paper aims to provide clarity and systematic categorization of terms employed to describe the exclusion of humans from agricultural technical systems. (*Materials and methods*) The paper employs the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), the Theory of Decision Making, and the System Method as theoretical frameworks. (*Results and discussion*) The paper provides a comprehensive clarification of the conceptual meanings attributed to terms such as mechanization, automation, robotization, and digitalization. It outlines their classical (Aristotelian) definitions and systematically categorizes a broad spectrum of related concepts, including mechanization, automation, robotization, intellectualization, digitalization, cyber-physical system, precision agriculture, digital agriculture, and smart (intelligent) agriculture. The obtained results are compared utilizing the approach of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (*Conclusions*) It is concluded that the concept of mechanization,

in contrast to the FAO approach, does not encompass farming reliant on manual labor and animal traction. It is determined that robotization necessitates intellectualization, whereas automation does not necessarily require it. Furthermore, digitalization is demonstrated as a means of implementing automation, robotization, intellectualization, and optimizing the operation of technical systems.

Keywords: mechanization, automation, robotization, intellectualization, digitalization, cyber-physical system, ideal technical system, structured solutions, unstructured solutions, agriculture.

For citation: Korotchenya V.M. Mekhanizatsiya, avtomatizatsiya, robotizatsiya, tsifrovizatsiya: utochnenie i sistematizatsiya ponyatiy [Mechanization, automation, robotization, and digitalization: conceptual clarification and systematization]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 26-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-26-34. EDN: BWOFAY.

С развитием информационно-коммуникационных технологий (особенно в конце 1980-х – начале 1990-х годов, когда появились Интернет и точное земледелие) цифровая трансформация сельского хозяйства внесла в профессиональный и общественный дискурс множество близких по смыслу терминов, таких как точное, цифровое, умное сельское хозяйство и др. При этом также в нашем лексиконе имеются устоявшиеся, знакомые всем понятия механизации, автоматизации, роботизации.

Возникла зона неясности и размытости значений при использовании подобных ключевых слов в научных работах по цифровизации сельского хозяйства. Обычно авторы не предлагают четких определений и разграничений между такими понятиями, как автоматизация, роботизация, цифровизация и т.п.

Так, в одной из статей автоматизация рассматривается как высшая степень механизации, при этом категория цифрового сельского хозяйства, согласно авторам, включает как автоматизацию, так и замену ручного труда на основе робототехники [1]. Данная терминологическая конструкция весьма непонятна и противоречива: отсутствуют критерии различения автоматизации и роботизации; кажется странным, что цифровое сельское хозяйство содержит в себе механизацию – автоматизацию как высшую ее степень. К примеру, ФАО не считает цифровые технологии частью механизации [2].

Авторы другой статьи предлагают решать проблему дефицита кадров в аграрном секторе путем *автоматизации* сельскохозяйственного производства [3]. В свою очередь, другой авторский коллектив говорит уже о *роботизации* как об искомом решении [4]. Безусловно, использование различных терминов для обозначения одного и того же создает путаницу.

Как правило, при обсуждении цифрового аспекта сельскохозяйственных технологий исследователи склонны к употреблению определенных, выбранных ими понятий. Одни предпочитают использовать цифровое сельское хозяйство как главную категорию [5]. Другие приоритет отдают автоматизации [3]. Третьи выделяют роботизацию [4, 6]. При этом некоторые важные термины, такие как точное сельское хозяйство, могут вообще отсутствовать, хотя цифровое

сельское хозяйство как новая технологическая парадигма берет начало с возникновения именно точного земледелия. Например, в тексте рассмотренных статей понятие точного (прецизионного) земледелия встречается только один раз [4].

Отдельного внимания заслуживает понимание автоматизации со стороны ФАО [2] (рис. 1).

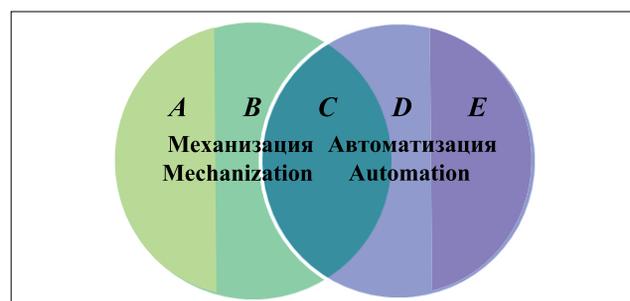


Рис. 1. Подход ФАО к автоматизации сельского хозяйства: А – ручные орудия труда; В – тяговая сила животных; С – механизация с использованием моторизованной техники; D – цифровое оборудование; E – робототехника с искусственным интеллектом (рисунок создан на основе работы ФАО [2])

Fig. 1. FAO's framework for agricultural automation: A – manual tools; B – animal traction; C – motorized mechanization; D – digital equipment; E – robotics with artificial intelligence (This figure is developed based on the research conducted by the Food and Agriculture Organization (FAO) [2])

Согласно ФАО, автоматизацией сельского хозяйства можно назвать использование машин и оборудования для осуществления хотя бы одного из трех этапов выполняемой сельскохозяйственной операции: диагностики (оценки ситуации), принятия решения, выполнения решения (операции).

При использовании ручных орудий труда (сектор А на рисунке 1) или тяговых животных (сектор В) диагностика, принятие решений и их выполнение (с применением, соответственно, ручного инвентаря или силы животных) производятся людьми без машин. Автоматизация отсутствует.

Сектор С (механизация с использованием моторизованной техники) относится одновременно к механизации и автоматизации. В нем на основе труда машин автоматизируется выполнение операций, но ди-

агностика и принятие решений по-прежнему осуществляются людьми.

В секторе *D* уровень автоматизации возрастает, так как здесь люди применяют цифровые технологии для улучшения проводимой ими диагностики и принятия решений, а моторизованная техника оснащается цифровым оборудованием для повышения качества выполняемых операций.

Наконец, сектор *E* представляет собой полную автоматизацию, поскольку машины (роботы с искусственным интеллектом) реализуют без участия человека все три стадии – диагностику, принятие решения, выполнение операции.

Секторы *D* и *E* в совокупности составляют цифровую автоматизацию (прецизионное земледелие).

Концепция автоматизации сельского хозяйства ФАО представляется весьма логичной и завершенной. Однако, на наш взгляд, она обладает по меньшей мере тремя недостатками.

Во-первых, согласно современной теории принятия решений стадия диагностики (на языке ФАО) входит непосредственно в сам процесс принятия решений: мы здесь можем сослаться на лауреата Нобелевской премии Герберта Саймона [7]. Работы данного ученого оказали влияние на формирование научных основ систем поддержки принятия решений.

Во-вторых, отмечая противоречивость определений автоматизации, имеющих в литературе, специалисты ФАО сами не акцентируют внимание на схожести терминов «автоматизация» и «роботизация», хотя обе категории предполагают исключение человеческого труда из технической системы (процесса) [2]. Требуется более четкое объяснение.

Наконец, в изложении подхода ФАО отсутствует теоретическое обоснование представленных взглядов на автоматизацию. К примеру, для уточнения понятий «автоматизация»/«роботизация»/«цифровизация» и др. в данной статье используется теория решения изобретательских задач и иные инструменты.

Рассмотренные публикации свидетельствуют о проблеме использования научной терминологии, в связи с чем требуется прояснение и систематизация понятий, указывающих на исключение человеческого труда из технических процессов.

Как правильнее, точнее сформулировать: провести автоматизацию или роботизацию сельского хозяйства? Или вместо этих двух категорий лучше использовать понятие цифровизации или интеллектуализации? Какой смысл вкладывается, когда вводятся в оборот данные и аналогичные им термины? Каковы различия между ними? Как их можно систематизировать? Попытаемся разобраться с этим и предложить свой ответ.

Цель исследования – уточнение и систематизация терминов, используемых для описания вытеснения человека из технических систем сельскохозяй-

ственного назначения. Ниже рассматриваются термины: механизация, автоматизация, роботизация, интеллектуализация, цифровизация, киберфизическая система, точное/цифровое/умное (интеллектуальное) сельское хозяйство.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Методологической основой исследования стали теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), теория принятия решений, системный метод.

Для определения значения понятий мы исходим из классического подхода к определению, заложенного Аристотелем и используемого для толкования общих и научных терминов в современных словарях, в том числе специализированных [8]. При этом, подобно Аристотелю, мы опираемся на реальное определение, т.е. даем определение не слову как таковому, а той вещи, на которую данное слово указывает [9].

Как известно, классическое определение состоит из трех частей: определяемого термина (*definiendum*); класса (*genus*), к которому относится определяемый термин; отличительных особенностей (*differentia*) термина, которые позволяют отличить конкретный термин от других членов данного класса. На уровне класса происходит обобщение, а на уровне отличительных особенностей – конкретизация. Все части классического определения, хотя и выраженные с помощью слов, представляют собой вещи, или *референты*, – то, что существует в реальном мире, и на что указывает соответствующее слово или словосочетание.

Например, в Большом толковом словаре русского языка приводятся определения понятий комбайна и сажалки (<http://www.gramota.ru/slovari/dic/?bts=x&word>):

Комбайн – сельскохозяйственная машина, выполняющая одновременно ряд операций по уборке зерновых и технических культур;

Сажалка – сельскохозяйственная машина для посадки картофеля; рассады и семян деревьев.

Термины «комбайн» и «сажалка» – это *definiendum*; «сельскохозяйственная машина» – *genus*; в качестве *differentia* выступает назначение соответствующей сельскохозяйственной машины.

Необходимо отметить, что данное исследование не опирается на словари как таковые, поскольку, как отмечают лингвисты, поиск значений терминов в словарях, как общих, так и специализированных, не может установить точное значение искомого понятия и стать основой для разрешения споров относительно определений [10]. Причинами являются два момента.

Во-первых, словари не способны установить четкие границы понятия и определить однозначно соответствующее множество референтов, относящихся к данной категории. Например, не понятно, можно ли замену ручного труда роботизированными машинами считать механизацией. ФАО считает, что нет, но словарь эту возможность не исключает. В Большом

толковом словаре под механизацией понимается полная или частичная замена средств ручного труда машинами и механизмами; выполнение производственных процессов машинами и механизмами. Попутно отметим, что использование ручных средств труда в сельском хозяйстве, например, мотыги, ФАО уже включает в понятие механизации [2]. Часто такая неоднозначность возникает из-за того, что словари не раскрывают историю понятия [10].

Во-вторых, поскольку определение выражается с помощью слов, то возникает проблема их интерпретации. К примеру, в приведенном определении механизации интерпретация слова «частичная» может вызывать вопросы. В какой степени/пропорции должно быть сочетание машинного и ручного труда, чтобы считать данную деятельность механизированной? Если в какой-нибудь стране с помощью сельхозтехники обрабатывается лишь 5% площади национальных сельхозугодий, можно ли говорить о факте механизации сельского хозяйства в данном случае? Наверняка нет, но 5% – это тоже «частично».

Поэтому для уточнения и систематизации терминов в настоящей статье используются не словари, а теории, на основании которых строится аргументация, способная пролить свет на сущность того или иного понятия.

Отправной точкой является теория решения изобретательских задач, где, в частности, дается понятие *идеальной технической системы*. Такая система характеризуется, в том числе, самоисполнением, когда она функционирует без участия человека, с наивысшим качеством и максимальной эффективностью работы (Петров В. Основы ТРИЗ: Теория решения изобретательских задач. 2-е изд.: Издательские решения. 2020. 750 с.).

В части *самоисполнения* необходимо сослаться на закон ТРИЗ о вытеснении человека из технической системы. Согласно этому закону, по мере развития технической системы участие человека в выполнении ее функций поэтапно сокращается вплоть до момента, когда система работает без человека (Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. Поиск новых идей: от озарения к технологии (Теория и практика решения изобретательских задач). Кишинев: Картя Молдовеняскэ. 1989. 381 с.).

Поэтапное вытеснение человека происходит следующим образом: человеческий фактор вытесняется с уровня рабочего органа, затем из трансмиссии, двигателя, системы управления (четырёх частей любой технической системы в соответствии с законом ТРИЗ о полноте частей системы). Двигатель преобразует энергию и через трансмиссию передает ее к рабочему органу, который воздействует на объект труда. При этом система управления согласует работу технической системы во времени и пространстве, управляя потоком энергии между частями системы. Система

управления состоит из двух подсистем: принятия решений и оперативного управления технической системой.

Исторически *механизация* сельского хозяйства была связана с *замещением тяжелого физического труда человека* работой машин [11]. При этом человек выполнял относительно простое, легкое, не требующее больших физических усилий управление машиной.

Вытеснение человека из системы управления уже связано с *автоматизацией* и *роботизацией* технической системы.

Когда процессы принятия решений и оперативного управления передаются самой машине, необходимо различать структурированные и неструктурированные решения/задания. Данные понятия являются частью теории принятия решений и восходят к работе Саймона [7].

Структурированные решения/задания возможно жестко запрограммировать в силу их простоты и упорядоченности. Например, это касается работы светофора, когда после 60 секунд красного сигнала включается зеленый свет длительностью 60 секунд, и смена сигналов светофора продолжается в таком же режиме циклически. Структурированные решения/задания связаны с *автоматизацией* – созданием автоматических систем, т.е. машин-автоматов, согласно теории механизмов и машин (Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. 4-е изд. М.: Транспортная компания. 2021. 640 с.).

В свою очередь, *неструктурированные решения/задания* нельзя жестко запрограммировать по причине их чрезвычайной сложности, вызванной неопределенностью и динамичностью среды, в рамках которой они имеют место (такую среду также называют неструктурированной). Здесь техническая система должна обладать *искусственным интеллектом*. В теории механизмов и машин такие машины называются *кибернетическими*. Например, машина-робот по уничтожению сорняков должна уметь отличать сорные растения от культурных, быть способной прервать выполнение технологической операции, если на ее пути неожиданно возникло препятствие, скажем, человек или животное. Решения и действия данной машины невозможно предугадать и запрограммировать заранее – они являются *неструктурированными*. Группу машин, связанную с последними, составляют *роботы*. Они оснащаются датчиками для получения данных о внешней среде, на их основании самостоятельно принимают решения и независимо от человека воздействуют на среду для достижения определенной цели [12].

В научной литературе имеется понимание различия между автоматами и роботами в контексте различия между структурированными и неструктурированными решениями/заданиями/среды [13, 14]. Тем не менее, далеко не все авторы следуют представленной здесь аргу-

ментации. В частности, в научных работах можно встретить понятие «умный робот» («*smartrobot*»). Но в силу самого определения робот – уже умная машина. Автомат, напротив, умной машиной не является, поскольку работает по жесткой программе. Оба вида машин работают без участия человека.

Современные технологии предполагают проведение автоматизации и роботизации на основе цифровых технологий. Таким образом, в фокус нашего внимания попадает *цифровизация*, которая приводит к созданию *киберфизических систем* [15]. Они представляют собой объединение технических систем и информационно-коммуникационных технологий, когда физическая машина и информационные потоки становятся единым целым.

Современная сельхозмашина, к примеру трактор, комбайн или почвообрабатывающий агрегат, – это

киберфизическая система, где движение информации так же важно, как и движение физической энергии. На языке теории механизмов и машин происходит объединение рабочей (транспортной, технологической) и информационной машин.

Строго говоря, цифровизация не обязательно подразумевает полностью автоматизированные/роботизированные киберфизические системы, как это было с приходом технологий точного земледелия. Ее содержание гораздо шире. Цифровизация помимо самоисполнения может преследовать цель достижения максимальной возможного качества и эффективности работы технической системы (характеристик *идеальной технической системы*), поскольку применительно к техническим системам ее сущность сводится к использованию цифровой электроники для оптимизации технических процессов [16, 17]. Будучи частью

Таблица 1		Table 1
Выявление отличий между механизацией, автоматизацией, роботизацией IDENTIFYING DIFFERENCES BETWEEN MECHANIZATION, AUTOMATION, AND ROBOTIZATION		
Примеры технологий (обработка почвы) Examples of technologies (tillage)	С позиции закона вытеснения человека из технической системы имеет место From the perspective of the law of eliminating human involvement from the technical system, there exists	Обоснование Rationale
Обработка почвы человеком руками Manual tillage	(Техническая система отсутствует) (There is no technical system)	PO, T, Д, СУ (ПР, ОУ) представлены человеком WB, T, E, and CS (DM, OC) are represented by a person
Обработка почвы человеком с помощью лопаты Manual tillage with a shovel	Примитивная механизация Primitive mechanization	Д представлен человеком. Тяжелый физический труд человека сохраняется E is represented by a person. Laborious physical work remains
Обработки почвы конным плугом Horse plowing	Примитивная механизация Primitive mechanization	Д представлен животным. Тяжелый физический труд человека сохраняется E is represented by an animal. Laborious physical work remains
Обработка почвы тракторным плугом Tractor plowing	Механизация Mechanization	Тяжелый физический труд отсутствует. Человек лишь управляет машиной (ПР, ОУ) There is no laborious physical work. A person only controls the machine (DM, OC)
Автоматическая культивация почвы с подрезанием сорняков внутри рядка* Automated soil cultivation with in-row weeding	Автоматизация Automation	Человек вытеснен из технической системы. Машина управляет собой, при этом ПР и ОУ включают соответственно структурированные решения и структурированные задания The technical system excludes human involvement. The machine operates independently with machine self-control, while the DM and OC involve structured decisions and structured tasks, respectively
Автономная обработка почвы Autonomous tillage	Роботизация (включает интеллектуализацию) Robotization (including intellectualization)	Человек вытеснен из технической системы. Машина управляет собой, при этом ПР и ОУ включают, соответственно, неструктурированные решения и неструктурированные задания The technical system excludes human involvement. The machine operates independently with machine self-control, while the DM and OC involve unstructured decisions and unstructured tasks, respectively

PO – рабочий орган; T – трансмиссия; Д – двигатель; СУ – система управления; ПР – принятие решений; ОУ – оперативное управление
WB – working body; T – transmission; E – engine; CS – control system; DM – decision making; OC – operational control

*Автоматизация машины производится исключительно на основе координат спутниковой системы навигации, регистрируемых при посадке семян культуры. При повторном проходе машина автоматически проводит культивацию почвы внутри рядков с учетом записанных местоположений посаженных семян культуры. Приводя пример такой машины (https://www.youtube.com/watch?v=jHd_ZQclc34), авторы ошибочно называют данную машину роботом. Однако это не робот, а автомат, так как в нем нет интеллектуальной компоненты, а имеется жесткое программирование.

*Machine automation is accomplished exclusively through the utilization of satellite navigation system coordinates, which are recorded during the seed planting phase. During subsequent passes, the machine autonomously tills the soil within the rows while considering the previously recorded seed locations. In an illustrative example presented by the authors (https://www.youtube.com/watch?v=jHd_ZQclc34), they erroneously label this machine as a robot. However, it is more accurately classified as an automaton due to its absence of an intellectual component, and its relying on rigid programming instead.

киберфизической системы, информационно-коммуникационные технологии выступают инструментом реализации как самоисполнения, так и оптимизации процессов физической компоненты системы.

Также отметим, что в настоящей статье мы говорим о цифровизации технических систем и не затрагиваем более широкое значение данного понятия, связанное с формированием информационного общества [18].

Результаты и обсуждение. На основе законов ТРИЗ о вытеснении человека из технической системы и о полноте частей системы, а также исходя из противопоставления структурированных и неструктурированных решений/заданий, в *таблице 1* показаны отличия между понятиями механизации, автоматизации, роботизации.

Как следует из *таблицы 1*, использование ручных средств труда, а также тягловой силы животных нами предлагается в механизацию не включать, в отличие от подхода ФАО, так как они не исключают тяжелый физический труд со стороны человека. Их можно назвать примитивной механизацией, протомеханизацией или даже квазимеханизацией. Безусловно, данные технологии сыграли важную историческую роль в развитии сельского хозяйства, но с позиции текущего технического уровня они примитивны. Когда мы говорим о проблеме механизации сельского хозяйства в современном контексте, то имеем в виду переход развивающейся страны на машинные сельскохозяйственные технологии [19].

Суть автоматизации, в свою очередь, сводится к передаче функции управления машиной самой машине, которая при этом действует по заранее разработанной человеком жесткой программе, т.е. принимает структурированные решения и выполняет структурированные задания согласно своему назначению. Наше понимание автоматизации существенно отличается от подхода ФАО. Во-первых, у нас нет пересечения между механизацией и автоматизацией (два круга на *рисунке 1* не имели бы общих точек, сектор *C* представлял бы исключительно механизацию, а секторы *A* и *B* совокупно – примитивную механизацию). Во-вторых, мы строго разделили автоматизацию и роботизацию, тогда как согласно подходу ФАО автоматизация включает роботизацию. Наконец, мы считаем, что автоматизация сама по себе предполагает полное вытеснение человека из технической системы, а ФАО считает это необязательным.

Роботизация так же, как и автоматизация, приводит к исключению человеческого труда. Однако в случае роботов решения/задания уже являются неструктурированными (их невозможно жестко запрограммировать), и поэтому для полноценной работы роботизированные системы включают в себя *интеллектуализацию*. Под интеллектуализацией понимается оснащение технической системы искусственным интеллектом. Строго говоря, интеллектуализация не означает роботизацию, поскольку техническая система может сочетать искусственный и человеческий интеллект, но интеллектуализация всегда является интегральной частью роботизации.

На *рисунке 2* представлена общая взаимосвязь между исследуемыми терминами, включая цифровизацию и точное сельское хозяйство. Мы сделали допущение, что автоматизация осуществляется исключительно на основе цифровой электроники [20].

Цифровизация выступает комплексным, объединяющим понятием. Она приводит к формированию цифрового сельского хозяйства, автоматизация – автоматизированного сельского хозяйства (автоматизированных сельскохозяйственных технологий), роботизация – роботизированного сельского хозяйства, интеллектуализация – умного (интеллектуального) сельского хозяйства, а точное сельское хозяйство может содержать в себе элементы всех указанных видов сельского хозяйства.

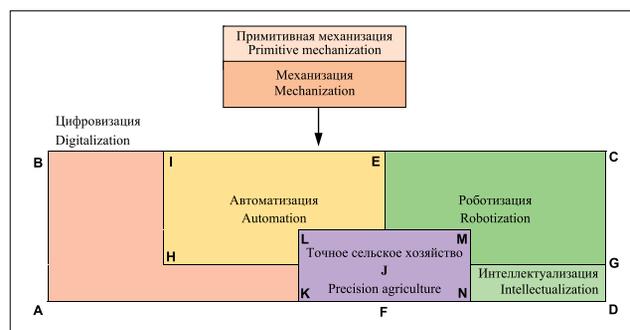


Рис. 2. Систематизация исследуемых понятий: ABCD – цифровизация, или цифровое сельское хозяйство (киберфизические системы); HICG – самоисполнение; HIEJ – автоматизация, или автоматизированное сельское хозяйство; JECG – роботизация, или роботизированное сельское хозяйство; FECD – интеллектуализация, или умное (интеллектуальное) сельское хозяйство; KLMN – точное сельское хозяйство

Fig. 2. Systematization of the studied concepts: ABCD – digitalization or digital agriculture (cyber-physical systems); HICG – self-execution; HIEJ – automation, or automated agriculture; JECG – robotization or robotic agriculture; FECD – intellectualization or smart (intelligent) agriculture; KLMN – precision agriculture

Необходимые компоненты классического определения по Аристотелю в отношении понятий механизации, автоматизации, роботизации, цифровизации приведены в *таблице 2* (на основе принятой в настоящей статье методологии). Исходя из положений этой таблицы, не составит труда сформулировать определения соответствующих терминов, в частности, последних двух.

Роботизация – это способ повышения степени идеальности технической системы (ТС) путем реализации самоисполнения, когда ее система управления имеет дело с неструктурированными решениями и неструктурированными заданиями, требующими наличия искусственного интеллекта для работы без участия человека.

Формулировка может быть более краткой: «роботизация – это реализация самоисполнения в ТС, когда ее система управления ... (и далее по тексту)». В этом случае необходимо дополнительно указать, что самоисполнение ведет к росту степени идеальности самой ТС.

Таблица 2

Table 2

**КОМПОНЕНТЫ КЛАССИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ПОНЯТИЙ МЕХАНИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ, РОБОТИЗАЦИИ, ЦИФРОВИЗАЦИИ
COMPONENTS OF THE CLASSICAL DEFINITION FOR THE CONCEPTS OF MECHANIZATION, AUTOMATION, ROBOTIZATION, AND DIGITALIZATION**

Определяемый термин (<i>definiendum</i>)	Класс (<i>genus</i>)	Отличительные особенности (<i>differentia</i>)
Механизация Mechanization	Способ повышения степени идеальности технической системы на основе самоисполнения (вытеснения человека из технической системы) An approach to enhancing the ideality of a technical system through self-execution (elimination of human involvement from the technical system)	Тяжелый физический труд человека замещается работой технической системы, при этом человек осуществляет не требующее больших физических усилий управление системой Laborious physical work is replaced by the operation of a technical system, allowing individuals to exert control over the system without requiring significant physical effort
Автоматизация Automation		Техническая система работает без участия человека по жесткой программе (система управления технической системы имеет дело со структурированными решениями/заданиями) The technical system operates autonomously without human intervention, following a predetermined program (the control system of the technical system handles structured decisions and tasks)
Роботизация Robotization		Техническая система работает без участия человека на основе искусственного интеллекта (система управления технической системы имеет дело с неструктурированными решениями/заданиями) The technical system operates independently, relying on artificial intelligence, thus eliminating the need for human involvement (the control system of the technical system handles unstructured decisions and tasks)
Цифровизация Digitalization	Инструмент реализации самоисполнения и оптимизации работы технической системы A self-execution tool for optimizing the operation of a technical system	В качестве указанного инструмента выступают информационно-коммуникационные технологии Information and communication technologies serve as the tool.

Цифровизация – это применение информационно-коммуникационных технологий для реализации самоисполнения и оптимизации работы технической системы.

Представленное нами понимание значений рассматриваемых понятий существенно отличается от подхода ФАО и авторов работ [1, 3-6]. К примеру, в силу того, что сельскохозяйственное производство в целом не является производственной линией, которую можно автоматизировать, мы считаем, что правильно говорить о роботизации сельского хозяйства, а не его автоматизации, как в статье [3].

Правильному употреблению подлежит даже всем знакомое понятие механизации. С нашей точки зрения, современное понимание механизации сельского хозяйства должно исключать то, что мы назвали примитивной механизацией. Исключение можно сделать для исторических исследований, когда при описании технологий, скажем, Средневековья, можно говорить о механизации, существовавшей в те времена.

Безусловно, часть авторов продолжит использовать исследуемые термины на свое усмотрение, например, считать синонимами автоматизацию и роботизацию. Тем не менее, мы как профессиональное сообщество должны прийти к согласию относительно общего понимания специальной терминологии. В конечном счете в основе любых определений лежит договоренность между людьми, а не словари как таковые [10].

Выводы

1. Механизация связана с заменой тяжелого физического труда человека работой технической системы. При этом ведение сельского хозяйства на основе ручных средств труда и тягловой силы животных (в современных условиях) в механизацию не включается, в отличие от подхода ФАО.

2. Различие между автоматизацией и роботизацией состоит в том, что автоматизация имеет дело со структурированными решениями/заданиями технической системы, а роботизация – с неструктурированными. Вследствие этого роботизация требует интеллектуализации, а автоматизация – нет (имеет место жесткое программирование).

3. Посредством цифровизации реализуется автоматизация, роботизация, интеллектуализация, оптимизация работы технических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуба А.Ю., Чуба Ан.Ю. Современные решения в области цифровизации и автоматизации сельского хозяйства // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. N5(79). С. 163-165.
2. ФАО. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. 2022. Автоматизация сельского хозяйства как инструмент преобразования агропродовольственных систем. Рим: ФАО. 2022. 154 с.
3. Антонов М.А., Анисимов А.А., Каширо С.Е. Об автоматизации сельского хозяйства // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022. N9. С. 210-215.
4. Скворцов Е.А., Скворцова Е.Г., Санду И.С., Иовлев Г.А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // *Экономика региона*. 2018. Т. 14. N3. С. 1014-1028. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-9-210-215. EDN: AFOVPE.
5. Косников С.Н., Чаленко А.С., Меликов Э.Р. Преимущества и проблемы цифровизации сельского хозяйства // *Естественно-гуманитарные исследования*. 2022. N42(4). С. 137-140. EDN: YBJELG.
6. Набоков В.И., Некрасов К.В., Скворцов Е.А. Роботизация отечественного сельскохозяйственного производства // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. N3. С. 155-160. EDN: VKQZMH.
7. Simon H.A. The new science of management decision. – New York: Harper & Brothers Publishers. 1960. 50.
8. Becker H. Scientific and technical dictionaries; Coverage of scientific and technical terms in general dictionaries. In: Durkin P., ed. The Oxford handbook of lexicography. Oxford: Oxford University Press. 2016. 393-408.
9. Parry W.T., Hacker E.A. Aristotelian logic. Albany: State University of New York Press. 1991. 545.
10. Williams J.M., Colomb G.G. The craft of argument. 3rd ed. New York: Pearson Education, Inc. 2007. 492.
11. Christensen C.L. How agrarian values affect society. In: James H.S., Jr., ed. Handbook on the human impact of agriculture. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing. 2021. 333-351.
12. Mataric M.J. The robotics primer. Cambridge, MA, USA; London, UK: The MIT Press. 2007. 306.
13. Tessier C. Robots autonomy: some technical issues. In: Lawless W.F., Mittu R., Sofge D., Russell S., eds. Autonomy and artificial Intelligence: A threat or savior? Cham: Springer. 2017. 179-194.
14. Mo C., Davidson J., Hohimer C. Robotic manipulation and optimization for agricultural and field applications. In: Karkee M., Zhang Q., eds. Fundamentals of agricultural and field robotics. Cham: Springer. 2021. 159-190.
15. Nardelli P.H.J. Cyber-Physical systems: theory, methodology, and applications. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2022. 271.
16. Sun P. Unleashing the power of 5GtoB in industries. Singapore: Springer. 2021. 287.
17. Дорохов А.С. Компьютерное зрение как инструмент системы управления технологическими процессами // *Система технологий и машин для инновационного развития АПК России*. 2013. С. 355-357.
18. Grądzki W. Contemporary challenges of the information society. *Journal of Modern Science*. 2023. Vol. 52(3). 458-477. <https://doi.org/10.13166/jms/174419>.
19. Belton B., Win M.T., Zhang X., Filipski M. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. *Food Policy*. 2021. Vol. 101. 102095. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102095>.
20. Song Z., Mishra A.R., Saeidi S.P. Technological capabilities in the era of the digital economy for integration into cyber-physical systems and the IoT using decision-making approach. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2023. Vol. 8(2). 100356. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100356>.

REFERENCES

1. Chuba A.Yu., Chuba An.Yu. Sovremennye resheniya v oblasti tsifrovizatsii i avtomatizatsii sel'skogokhozyaistva [Up-to-date approaches in the field of digitization and automation in agriculture]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019. N5 (79). 163-165 (In Russian).
2. FAO. Polozhenie del v oblasti prodovol'stviya i sel'skogokhozyaistva – 2022. Avtomatizatsiya sel'skogokhozyaistva kak instrument preobrazovaniya agroprodovol'stvennykh sistem [The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems]. Rome: FAO. 2022. 154 (In Russian).
3. Antonov M.A., Anisimov A.A., Kashiro S.E. Ob avtomatizatsii sel'skogokhozyaistva [On the automation of agriculture]. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2022. N9. 210-215 (In Russian).
4. Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. Perekhod sel'skogokhozyaistva k tsifrovym, intellektual'nym i robotizirovannym tekhnologiyam [Transition of agriculture to digital, intellectual and robotics technologies]. *Economy of Regions*. 2018. Vol. 14. N3. 1014-1028 (In Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2022-9-210-215. EDN: AFOVPE.
5. Kosnikov S.N., Chalenko A.S., Melikov E.R. Preimushchestva i problemy tsifrovizatsii sel'skogo khozyaistva [Benefits and challenges of digitalization of agriculture]. *Natural-Humanitarian Studies*. 2022. N42(4). 137-140 (In Russian). EDN: YBJELG.
6. Nabokov V.I., Nekrasov K.V., Skvortsov E.A. Robotizatsiya otechestvennogo sel'skogokhozyaistvennogo proizvodstva [Robotization of domestic agricultural production]. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022. N3. 155-160 (In Russian). EDN: VKQZMH.
7. Simon H.A. The new science of management decision. New York: Harper & Brothers Publishers. 1960. 50 (In English).
8. Becker H. Scientific and technical dictionaries; Coverage of

- scientific and technical terms in general dictionaries. In: Durkin P., ed. *The Oxford handbook of lexicography*. Oxford: Oxford University Press. 2016. 393-408 (In English).
9. Parry W.T., Hacker E.A. *Aristotelian logic*. Albany: State University of New York Press. 1991. 545 (In English).
 10. Williams J.M., Colomb G.G. *The craft of argument*. 3rd ed. New York: Pearson Education, Inc. 2007. 492 (In English).
 11. Christensen C.L. How agrarian values affect society. In: James H.S., Jr., ed. *Handbook on the human impact of agriculture*. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing. 2021. 333-351 (In English).
 12. Matorić M.J. *The Robotics Primer*. Cambridge, MA, USA; London, UK: The MIT Press. 2007. 306 (In English).
 13. Tessier C. Robots Autonomy: some technical issues. In: Lawless W.F., Mittu R., Sofge D., Russell S., eds. *Autonomy and artificial intelligence: a threat or savior?* Cham: Springer. 2017. 179-194 (In English).
 14. Mo C., Davidson J., Hohimer C. Robotic manipulation and optimization for agricultural and field applications. In: Karkee M., Zhang Q., eds. *Fundamentals of agricultural and field robotics*. Cham: Springer. 2021. 159-190 (In English).
 15. Nardelli P.H.J. *Cyber-Physical systems: theory, methodology, and applications*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2022. 271 (In English).
 16. Sun P. *Unleashing the power of 5GtoB in industries*. Singapore: Springer. 2021. 287 (In English).
 17. Dorokhov A.S. *Komp'yuternoe zrenie kak instrument sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Computer vision as a tool of the process control system]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APKRossii*. 2013. 355-357 (In Russian).
 18. Grądzki W. Contemporary challenges of the information society. *Journal of Modern Science*. 2023. Vol. 52(3). 458-477 (In English). <https://doi.org/10.13166/jms/174419>.
 19. Belton B., Win M.T., Zhang X., Filipski M. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. *Food Policy*. 2021. Vol. 101. 102095 (In English). <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102095>.
 20. Song Z., Mishra A.R., Saeidi S.P. Technological capabilities in the era of the digital economy for integration into cyber-physical systems and the IoT using decision-making approach. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2023. Vol. 8(2). 100356 (In English). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100356>.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

03.04.2023
 25.05.2023

Оптимизация объема роботизированного кормораздатчика методом моделирования с применением теории графов

Станислав Михайлович Михайличенко¹,
кандидат технических наук,
доцент кафедры,
e-mail: S.M.Mikhailichenko@yandex.ru;
Алексей Иванович Купреенко²,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры, e-mail: kupreenkoai@mail.ru;

Юрий Григорьевич Иванов¹,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры, e-mail: iy.electro@mail.ru;
Евгений Александрович Никитин³,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;

²Брянский государственный аграрный университет, Брянская область, Российская Федерация;

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В рамках осуществления проекта по разработке роботизированного кормораздатчика первоначальной задачей оказывается определение его габаритных параметров, которые напрямую зависят от объема кормораздатчика. (*Цель исследования*) Промоделировать работу роботизированного кормораздатчика для определения оптимального объема, при котором обеспечивается универсальность его применения в животноводческих помещениях на фермах крупного рогатого скота с различной численностью животных при разной кратности кормления. (*Материалы и методы*) Поставленную задачу решали путем вычисления времени, затрачиваемого роботизированным кормораздатчиком на кормление животных, которое не должно превышать предельных величин, установленных зоотехническими нормами. Для этого использовали основанную на теории графов методику, в которой учитывается вероятностный характер составляющих баланса времени раздачи кормосмесей роботизированным кормораздатчиком. Блок вычислений выполнили в программе *MS Excel*. (*Результаты и обсуждение*) Описали условия для моделирования. Рассмотрели два варианта работы роботизированных кормораздатчиков, при которых один робот обслуживает два коровника либо для каждого коровника используется отдельный кормораздатчик. (*Выводы*) Определили, что наиболее предпочтительный второй вариант с отдельным роботизированным кормораздатчиком. Доказали, что в этом случае в результате сокращения протяженности проездов производительность роботизированного кормораздатчика повышается на 27,9-36,2 процента для рассмотренных условий, а также исключается необходимость установки автоматических ворот и возведения утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками, упрощается задача по составлению программ кормления. Выявили, что для кормления животных в коровниках с габаритами 111,9 на 26,6 метра и меньших размеров, вмещающих до 340 голов, при кратности кормления 4-8 раз в сутки достаточно использовать роботизированный кормораздатчик объемом 2 кубических метра.

Ключевые слова: кормление крупного рогатого скота, роботизированный кормораздатчик, автоматическая система кормления, теория графов.

■ **Для цитирования:** Михайличенко С.М., Купреенко А.И., Иванов Ю.Г., Никитин Е.А. Оптимизация объема роботизированного кормораздатчика методом моделирования с применением теории графов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 35-41. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-35-41. EDN: ILFHLL.

Optimization of Volume for an Automatic Feed Wagon by Graph Theory Based Modeling

Stanislav M. Mikhailichenko¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: S.M.Mikhailichenko@yandex.ru;
Aleksey I. Kupreenko²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: kupreenkoai@mail.ru;

Yuriy G. Ivanov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: iy.electro@mail.ru;
Evgeniy A. Nikitin³,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Russian Federation;

³Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Within the project of developing an automatic feed wagon, the initial task is to determine its overall parameters, which directly depend on the wagon volume. (*Research purpose*) To simulate the automatic feed wagon operation in order to determine the optimal volume ensuring the versatility of its use in cattle cowsheds accommodating different numbers of animals, and practicing different feeding frequency. (*Materials and methods*) The solution to the problem is based on the calculation of the feeding time taken by the automatic feed wagon. The time must not exceed the limit values established by zootechnical standards. To calculate the feeding time taken by an automatic feed wagon, a graph-theory-based simulation method was used, taking into account the probabilistic nature of the components of feed mixture distribution time balance. The calculations were performed in MS Excel. (*Results and discussion*) The paper describes the conditions for simulation and considers two options for the automatic feed wagon operation, in particular the option when one robot serves two cowsheds and the other when each cowshed is served by a separate feed wagon. (*Conclusions*) The second option with a separate automated feed wagon for each cowshed is proved to be more suitable. It has been obtained that in this case, the reduced movement length results in a 27.9-36.2 percent increase in productivity of the automatic feed wagon; besides there is no need to install automatic gates and build an insulated vestibule to move the robot between the cowsheds. Thus, the programming task becomes simplified. It has been found out that an automatic feed wagon having the volume of 2 cubic meters is enough to feed animals in the cowsheds sized 111.9 meters by 26.6 meters and smaller, accommodating up to 340 cows, and with a feeding frequency of 4-8 times a day.

Keywords: cattle feeding, robotic feeder, automatic feed wagon, automatic feeding system, graph theory.

■ **For citation:** Mikhailichenko S.M., Kupreenko A.I., Ivanov Yu.G., Nikitin E.A. Optimizatsiya obema robotizirovannogo kormorazdatchika metodom modelirovaniya s primeneniem teorii grafov [Optimization of volume for an automatic feed wagon by graph theory based modeling]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 35-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-35-41. EDN: ILFHLL.

Производственный опыт показывает, что развитие сельского хозяйства идет по пути автоматизации и роботизации технологических процессов производства. Это обуславливается как требованиями повышения эффективности производства, так и проблемами нехватки трудовых ресурсов.

В соответствии с приоритетом научно-технологического развития Российской Федерации, отраженного в указе Президента РФ № 642 от 01.12.2016 года, деятельность научных организаций должна обеспечить переход к цифровым и интеллектуальным производственным технологиям с применением систем обработки больших данных и максимальным уровнем импортозамещения [1, 2].

В рамках выполнения данной задачи на базе ФНАЦ ВИМ реализуется проект по разработке роботизированного кормораздатчика (робота). При теоретическом обосновании конструкции первоначальная задача заключалась в определении его габаритных параметров.

Цель исследования – моделирование работы роботизированного кормораздатчика для определения оптимального объема, при котором обеспечивается универсальность его применения в животноводческих помещениях на фермах КРС с разной численностью животных при разной кратности кормления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. При расчетах за основу взята концептуальная модель автоматической системы кормления (далее Система). Она включает в себя (рис. 1):

- отдельные для каждого коровника колесные ро-

ботизированные кормораздатчики с весовой системой для выдачи готовых кормосмесей и подравнивания кормов, оснащенные продольным транспортером и работающие от АКБ;

- отдельные для каждого коровника бункеры-накопители (один или несколько, в зависимости от применяемых рационов для кормления различных технологических групп животных и от особенностей организации технологического процесса), смонтированные в стену и предназначенные для промежуточного хранения приготовленных кормосмесей и автоматической загрузки их в роботизированный кормораздатчик;

- мобильный смеситель-раздатчик кормов (МСПК) с весовой системой для приготовления кормосмесей, кормления животных на выгульно-кормовых площадках и/или загрузки бункеров-накопителей с помощью вспомогательного транспортера (рис. 2);

- технические устройства для загрузки кормов в МСПК (либо МСПК с устройством для самозагрузки).

При реализации Системы задействованы технические устройства в определенной последовательности технологических операций:

- приготовление кормосмеси мобильным СПК с дополнительным транспортером;
- загрузка готовой кормосмеси из МСПК в бункер-накопитель;
- загрузка готовой кормосмеси из бункера-накопителя в роботизированный кормораздатчик.

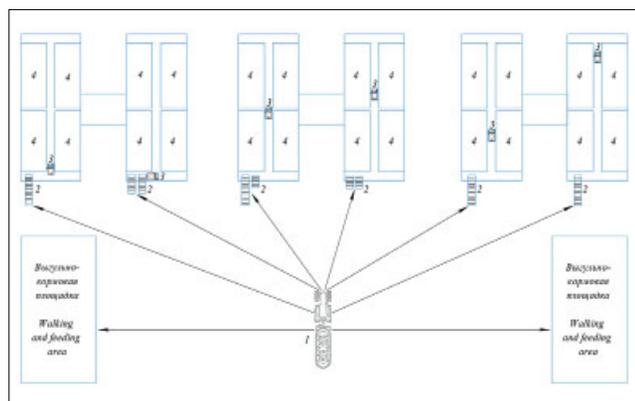


Рис. 1. Схематичный план реализации Системы: 1 – мобильный смеситель-раздатчик кормов; 2 – бункеры-накопители; 3 – колесные роботизированные кормораздатчики; 4 – технологические группы животных

Fig. 1. Schematic layout for the implementation of the System: 1 – mobile TMR mixer; 2 – storage containers; 3 – wheeled-powered automatic feed wagons; 4 – technological groups of animals



Рис. 2. Технические устройства для реализации Системы (слева направо): мобильный смеситель-раздатчик кормов с дополнительным транспортером; бункер-накопитель; колесный роботизированный кормораздатчик

Fig. 2. Technical devices for the implementation of the System (from left to right): mobile TMR mixer with an additional conveyor; storage container; wheeled-powered automatic feed wagon

Роботизированные кормораздатчики различаются по конструкции и вместительности. В ходе проведенного ранее обзора [3] было выявлено, что наибольшее распространение получили конструкции роботов объемом от 2 до 4 м³ (рис. 3). При этом рассмотрено 32 модели роботизированных кормораздатчиков, выпускаемых такими производителями, как *Lely*, *DeLaval*, *GEA*, *Pellon*, *Trioliet*, *KUHN* и др.

Решить задачу по определению оптимального объема роботизированного кормораздатчика можно путем вычисления времени, которое затрачивается на кормление животных и не должно превышать предельных величин, установленных зоотехническими нормами. Это время зависит от многих факторов:

- количества обслуживаемых животных;
- количества технологических групп животных;
- количества рационов кормления;
- вместительности робота;
- кратности кормления;
- объема суточного потребления кормов;
- скорости движения робота;
- производительности линии загрузки;
- протяженности поездов;
- плотности кормосмесей и др.

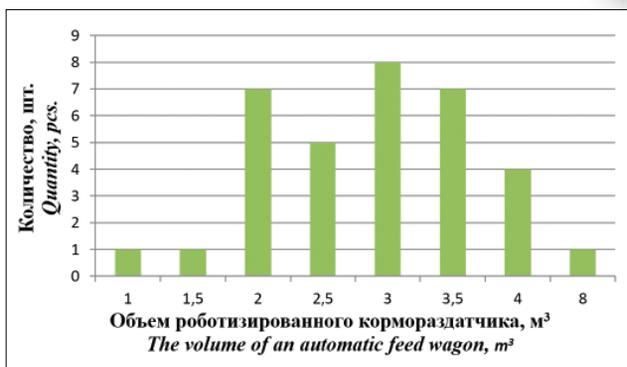


Рис. 3. Распределение моделей роботизированных кормораздатчиков по объему бункера

Fig. 3. Size range of automatic feed wagons

Это время можно вычислить с помощью основанной на теории графов методики, в которой учитывается вероятностный характер составляющих баланса времени раздачи кормосмесей [4]. Согласно этой методике, формула для вычисления времени, затрачиваемого роботизированным кормораздатчиком на кормление животных, имеет вид:

$$T_{\text{к}} = \left(\frac{N_1 l_{K_1}}{V_{P_1}} + \frac{N_2 l_{K_2}}{V_{P_2}} + \dots + \frac{N_w l_{K_w}}{V_{P_w}} \right) \times \frac{k_{\text{ц}}}{(P_1 + P_{P_2} + \dots + P_{P_w}) + T_{\text{вц}} \leq [T_{\text{к}}]}, \text{ ч} \quad (1)$$

где $T_{\text{ц}}$ – цикловое время одного кормления (раздачи кормосмеси), ч;

$T_{\text{вц}}$ – внецикловое время (затраты времени на ежедневное техническое обслуживание, агрегатированные с трактором), ч;

$[T_{\text{к}}]$ – допустимое по зоотехническим требованиям время одного кормления (раздачи кормосмеси), ч;

$N_1, N_2 \dots N_w$ – количество обслуживаемых животных на ферме в группе 1, 2...w, гол.;

$l_{k_1}, l_{k_2} \dots l_{k_w}$ – длина одного кормоместа в группе 1, 2...w, км/гол.;

$V_{P_1}, V_{P_2} \dots V_{P_w}$ – скорость движения кормового вагона при раздаче кормосмеси группе 1, 2...w, км/ч;

$k_{\text{ц}}$ – коэффициент, учитывающий потери циклового времени, связанные с особенностями организации технологического процесса раздачи кормосмесей;

$P_{P_1}, P_{P_2} \dots P_{P_w}$ – вероятность нахождения кормового вагона в состоянии раздачи кормосмеси группе 1, 2...w.

При этом вероятность нахождения роботизированного кормораздатчика в состоянии раздачи кормосмеси p_p определяется как сумма вероятностей нахождения роботизированного кормораздатчика в состоянии раздачи кормосмесей отдельным группам животных:

$$P_p = P_{P_1} + P_{P_2} + P_{P_w}.$$

С целью определения вероятности разработан

обобщенный граф состояний роботизированного кормораздатчика (рис. 4) [4].

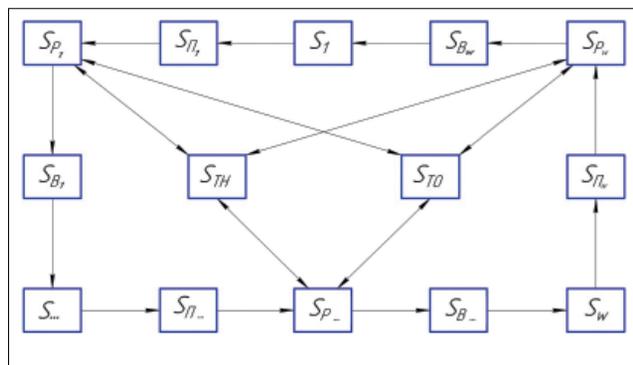


Рис. 4. Обобщенный граф состояний роботизированного кормораздатчика: w – количество групп/подгрупп животных с учетом кратности кормления; S_1, S_{\dots}, S_w – состояния загрузки готовой кормосмеси из бункера-накопителя в бункер роботизированного кормораздатчика для раздачи группе $1\dots w$, соответственно; $S_{П_1}, S_{П_{\dots}}, S_{П_w}$ – состояния переезда роботизированного кормораздатчика от места загрузки к месту начала раздачи группе $1\dots w$; $S_{P_1}, S_{P_{\dots}}, S_{P_w}$ – состояния раздачи группе $1\dots w$; $S_{B_1}, S_{B_{\dots}}, S_{B_w}$ – состояния переезда (возвращения) от места окончания раздачи группе $1\dots w$, к месту загрузки; $S_{ТН}$ и $S_{ТО}$ – состояния технологического нарушения и технического отказа

Fig. 4. Generalized graph of automatic feed wagon states:

w – the number of animal groups/subgroups consistent with the frequency of feeding; S_1, S_{\dots}, S_w – the states of loading the finished feed mixture from the storage hopper into the automatic feed wagon for distribution to group $1\dots w$; $S_{П_1}, S_{П_{\dots}}, S_{П_w}$ – the states of moving the robotic feeder from the loading place to the place of distribution to group $1\dots w$; $S_{P_1}, S_{P_{\dots}}, S_{P_w}$ – distribution states for group $1\dots w$; $S_{B_1}, S_{B_{\dots}}, S_{B_w}$ – the states of moving (returning) to the place of loading from the place of finishing distribution to group $1\dots w$, respectively; $S_{ТН}$ и $S_{ТО}$ – the states of technological breakdown and technical failure

В работе получено общее решение для данного графа, которое реализовано в программе *MS Excel* и позволяет вычислять время, затрачиваемое роботизированным кормораздатчиком на кормление животных при обслуживании любого количества технологических групп/подгрупп животных. Использование *MS Excel* удобно тем, что файлы с расчетной программой можно дублировать, моделируя в каждой из копий различные условия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При моделировании за основу приняты условия в КФХ «Лопотов А.Н.». В хозяйстве имеются два коровника размерами $111,9 \times 26,6$ м (рис. 5). Для упрощения расчетов принято, что в каждом коровнике содержится максимально возможное количество разделенных на технологические группы животных – по 340 голов. При этом норма выдачи одинакова для всех животных, а рационы кормления отличаются для каждого ряда, насчитывающего $87 + 83 = 170$ голов.

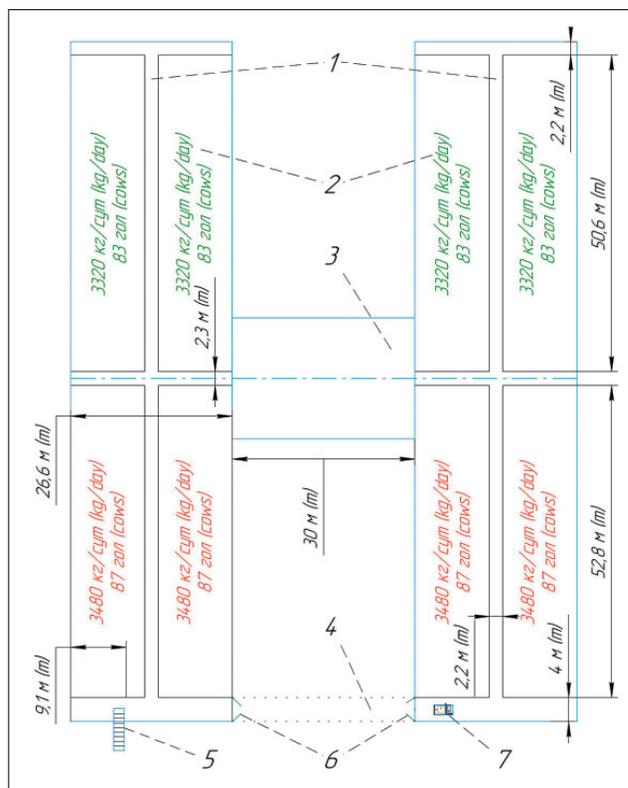


Рис. 5. План коровников (вариант обслуживания двух коровников одним роботизированным кормораздатчиком): 1 – кормовой проход; 2 – технологические группы животных; 3 – доильный зал; 4 – утепленный тамбур; 5 – бункер-накопитель (зона загрузки); 6 – автоматические ворота; 7 – колесный роботизированный кормораздатчик

Fig. 5. The layout of the cowsheds (the option of servicing two cowsheds with one automatic feed wagon): 1 – feed alley; 2 – technological groups of animals; 3 – milking parlor; 4 – insulated vestibule; 5 – storage hopper (loading area); 6 – automatic gates; 7 – wheeled-powered automatic feed wagon

Моделирование проводили для двух вариантов организации работы роботизированных кормораздатчиков:

- первый – обслуживание двух коровников одним роботом;
- второй – обслуживание каждого коровника отдельным роботом.

Кроме того, исследовали влияние на общую продолжительность кормления животных колесным роботизированным кормораздатчиком за сутки:

- объема бункера робота: 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 и 4,0 м³;
- кратности кормления: 4, 6 и 8 раз (как наиболее часто встречающиеся на практике) [5-9].

Суммарно при моделировании учтены 30 различных случаев. Для расчетов приняты следующие значения:

- производительность линии загрузки – 145 т/ч;
- скорость роботизированного кормораздатчика: груженого – 0,7 км/ч, порожнего – 0,85, при раздаче – 0,5 км/ч. Эти значения приняты согласно диапазону развиваемых скоростей подвешенного роботизированно-

го кормораздатчика *GEA Mix & Carry* (0,48-0,96 км/ч);
 - наработка на технологическое нарушение – 2 ч,
 наработка на технический отказ – 250 ч, среднее время устранения технологического нарушения 0,2 ч, среднее время технического отказа – 5 ч;

- плотность кормосмесей – 245 кг/м³;
 - суточное потребление кормосмеси одним животным – 40 кг/гол.;
 - длина одного кормоместа – 0,61 м;
 - коэффициент, учитывающий потери циклового времени, – 1;
 - внецикловое время (затраты времени на ЕТО и т.д.) – 0 ч.

Обобщенные результаты моделирования свидетельствуют о преимуществе варианта, при котором один робот обслуживает один коровник, рассчитанный на содержание 340 голов (рис. 6).

С учетом специфики эксплуатации роботизированных устройств, работающих от АКБ и требующих периодической подзарядки (например робот *Lely Vector*), задаем условием, что общее время кормления, то есть время работы робота, не должно превышать 12 ч/сут. В варианте обслуживания одним роботом двух коровников этому условию отвечают только устройства объемом 3,5 и 4 м³ при относительно малой кратности кормления животных – не более 4 раза. Это связано с увеличенной протяженностью

переездов, что негативно влияет на производительность робота (таблица).

Кроме того, в таком варианте потребуется установка автоматических ворот и возведение утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками. Существенно усложнится задача по созданию программ кормления, а изменение схемы кормления в одном коровнике приведет к необходимости коррекции общей программы кормления для двух коровников.

Для обоих вариантов рассчитали производительность роботизированного кормораздатчика. При определении относительной величины производительности вариант 2 приняли за 100% и сравнили с ним вариант 1.

Для рассмотренных условий при обслуживании каждого коровника отдельным роботом его производительность повышается на 27,9-35,2% по сравнению с вариантом обслуживания одним роботом двух коровников.

С учетом вышесказанного наиболее предпочтителен вариант обслуживания каждого коровника отдельным роботом. В этом случае условию, лимитирующему время кормления до 12 ч/сут., отвечают все роботы в рассматриваемом диапазоне объемов бункера от 2 до 4 м³ при кратности кормления от 4 до 8 раз в сутки.

Таким образом, для кормления животных в коровниках рассмотренного типа и меньшего размера достаточно одного роботизированного кормораздатчика с объемом бункера 2 м³. Важно отметить, что при моделировании выбрана малая плотность кормосмеси – 245 кг/м³. Данное значение зафиксировано итальянскими учеными на ферме в Северной Италии с функционирующей автоматической системой кормления *DeLaval Optimat Master* [10]. В большинстве случаев плотность кормосмесей больше указанного значения, и, следовательно, время кормления будет меньше полученных при моделировании результатов.

В перспективе основными потребителями роботизированных кормораздатчиков станут хозяйства с высокой концентрацией животных – 800-2000 и более коров, в том числе и крупные агрохолдинги, на долю которых приходится производство 35-40% всего молока в России [11, 12].

Выводы

1. Наиболее предпочтителен вариант, при котором для кормления животных в каждом коровнике используется отдельный роботизированный кормораздатчик. Обслуживание сразу двух коровников осложнено несколькими факторами:

- увеличением протяженности переездов и, соответственно, снижением производительности роботизированного кормораздатчика примерно на 25% для рассмотренных условий;
- необходимостью установки автоматических во-

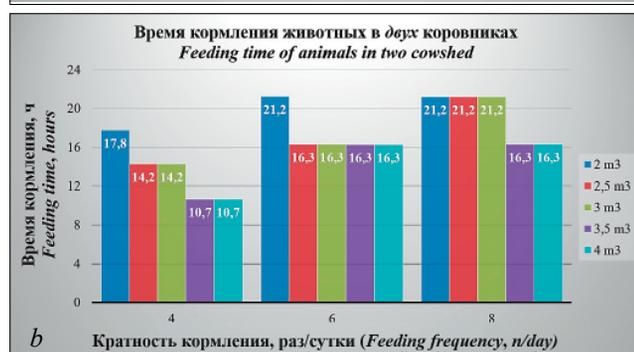


Рис. 6. Результаты моделирования работы роботизированного кормораздатчика: а – при обслуживании 340 гол. в одном коровнике; б – при обслуживании 680 гол. в двух коровниках
 Fig. 6. Results of modeling the automatic feed wagon operation: а – when servicing 340 cows in one cowshed; б – when servicing 680 cows in two cowsheds

Таблица		Table				
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА, ГОЛ./Ч PRODUCTIVITY OF THE AUTOMATIC FEED WAGON (COWS/H):						
Кратность кормления Feeding frequency n/day	Варианты Options	Объем бункера, м ³ / Hopper volume, m ³				
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
4	1*	52,1	63,4	63,4	81,7	81,7
	2**	38,3	47,8	47,8	63,7	63,7
	%***	136,2	132,8	132,8	128,4	128,4
6	1*	42,6	54,5	54,5	56,7	56,7
	2**	32,0	42,6	42,6	42,5	42,5
	%***	133,1	127,9	127,9	133,3	133,3
8	1*	41,3	41,3	41,3	56,7	56,7
	2**	32,1	32,1	32,1	42,5	42,5
	%***	128,6	128,6	128,6	133,3	133,3

*Один коровник – один робот. **Два коровника – один робот. ***Относительная производительность.
*One cowshed – one robot. **Two cowsheds – one robot. ***Relative productivity values.

рот и возведения утепленного тамбура для перемещения робота между коровниками;

- повышением сложности создания программ кормления и необходимостью корректировки общей программы кормления для двух коровников при изменении схемы кормления в одном из них.

2. Для кормления животных в коровниках с габаритами 111,9 × 26,6 м и меньших размеров, вмещаю-

щих до 340 голов, при кратности кормления от 4 до 8 раз в сутки достаточно использования роботизированного кормораздатчика с бункером объемом 2 м³.

3. Основными потребителями роботизированных кормораздатчиков станут хозяйства с высокой концентрацией животных – 800-2000 и более коров, в том числе и крупные агрохолдинги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Дорохов А.С., Никитин Е.А., Павкин Д.Ю. Колесные роботизированные технические средства: опыт и перспективы использования на животноводческих комплексах // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 16-21. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-16-21. EDN: AHOGZC.
- Никитин Е.А., Дорохов А.С., Павкин Д.Ю. Совершенствование технологии приготовления кормовой смеси при реконструкции кормовых площадок // *Техника и оборудование для села*. 2019. N11(269). С. 32-34. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-11-32-34. EDN: RIRDVM.
- Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Михайличенко С.М., Благов Д.А. Анализ роботизированных кормораздатчиков для животноводческих комплексов по содержанию крупного рогатого скота // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 94-104. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104. EDN: FCJSIK.
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Обобщенный граф состояний автоматического кормовагона при обслуживании технологических групп животных // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 63-67. EDN: YLTANJ.
- Mattachini G., Pompe J., Finzi A., Tullo E., Riva E., Provoilo G. Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*. 2019. N9. 121. DOI: 10.3390/ani9040121.
- Oberschätzl-kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhardt H. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. *Proceedings of CIGR-AgEng Conference*. Aarhus. Denmark. 2016. 1-8.
- Grothmann A., Moser L., Nydegger F., Steiner A., Zähler M. Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows. *Proceedings international conference of agricultural engineering*. Zurich. 2014. 1-6.
- Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. *Journal of agricultural engineering*. 2017. Vol. 48. N1. 48-52. DOI: 10.4081/jae.2017.642.
- Bisaglia C., Belle Z., Van den Berg G., Pompe J. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in the Netherlands. *Proceedings international conference of agricultural engineering CIGR-AgEng*. Valencia. 2012. 100-104.
- Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Engineering for rural development*. 2016. Vol. 15. 882-887.
- Иванов Ю.А. Результаты научных исследований по механизации и автоматизации животноводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N1(41). С. 4-11. DOI 10.51794/27132064-2021-1-4.
- Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Чепурина Е.Л. Концепция построения регионального многофункционального сервисного центра по молочному животноводству // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-4-10. EDN: VJRNNB.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Nikitin E.A., Pavkin D.Yu. Kolesnye robotizirovannye tekhnicheskie sredstva: opyt i perspektivy ispol'zovaniya na zhivotnovodcheskikh kompleksakh [Wheeled robotic technical tools: experience and prospects of use at livestock complexes]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 16-21 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-16-21. EDN: AHOGZC.
2. Nikitin E.A., Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu. Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya kormovoy smesi pri rekonstruktsii kormovykh ploshchadok [Improving a process for the preparation of feed mixture during the reconstruction of feed sites]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N11(269). 32-34 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-11-32-34. EDN: RIRDVM.
3. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Mikhaylichenko S.M., Blagov D.A. Analiz robotizirovannykh kormorazdatchikov dlya zhivotnovodcheskikh kompleksov po sodержaniyu krupnogo rogatogo skota [Analysis of robotic feeders for cattle keeping complexes]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023. Vol. 70. N1(50). 94-104 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-94-104. EDN: FCJSIK.
4. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhaylichenko S.M. Obobshchennyy graf sostoyaniy avtomaticheskogo kormovagona pri obsluzhivaniy tekhnologicheskikh grupp zhivotnykh [Generalized graph of states of an automatic feed wagon servicing technological groups of animals]. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 63-67 (In Russian). EDN: YLTAHJ.
5. Mattachini G., Pompe J., Finzi A., Tullo E., Riva E., Provollo G. Effects of feeding frequency on the lying behavior of dairy cows in a loose housing with automatic feeding and milking system. *Animals*. 2019. N9. 121 (In English). DOI: 10.3390/ani9040121.
6. Oberschätzl-kopp R., Haidn B., Peis R., Reiter K., Bernhardt H. Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows. *Proceedings of CIGR-AgEng Conference*. Aarhus. Denmark. 2016. 1-8 (In English).
7. Grothmann A., Moser L., Nydegger F., Steiner A., Zähler M. Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*. Zurich. 2014. 1-6 (In English).
8. Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 48. N1. 48-52 (In English). DOI: 10.4081/jae.2017.642.
9. Bisaglia C., Belle Z., Van den Berg G., Pompe J. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in the Netherlands. *Proceedings international conference of agricultural engineering CIGR-AgEng*. Valencia. 2012. 100-104 (In English).
10. Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Engineering for Rural Development*. 2016. Vol. 15. 882-887 (In English).
11. Ivanov Yu.A. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy po mekhanizatsii i avtomatizatsii zhivotnovodstva [Results of scientific research on livestock mechanization and automation]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2021. N1(41). 4-11 (In Russian). DOI 10.51794/27132064-2021-1-4.
12. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Chepurina E.L. Kontseptsiya postroeniya regional'nogo mnogofunktsional'nogo servisnogo tsentra po molochnomu zhivotnovodstvu [Conceptual grounds for the construction of a regional multifunctional service center for dairy livestock]. *Agroinzhenneriya*. 2021. N1(101). 4-10 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-4-10. EDN: VJRNNB.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Михайличенко С.М. – постановка проблемы, разработка расчетной программы, проведение моделирования, написание основного текста статьи, формирование направления дальнейшего исследования, подготовка материалов к публикации;

Купреенко А.И. – разработка теоретических предпосылок, редактирование и доработка текста статьи;

Иванов Ю.Г. – формирование выводов, редактирование и доработка текста статьи;

Никитин Е.А. – проведение обзорной работы, формирование направления дальнейшего исследования, редактирование и доработка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

04.04.2023

26.05.2023

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Mikhailichenko S.M. – problem statement, development of the calculation program, modeling, writing the draft manuscript, forming the further research directions, preparing materials for publication;

Kupreenko A.I. – development of theoretical background, editing and finalization of the manuscript;

Ivanov Yu.G. – formation of conclusions, proofreading the manuscript;

Nikitin E.A. – conducting a review, forming the further research direction, proofreading the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Распределение высокозагрязненного соевого материала в глубоком воздушном канале

Максим Николаевич Московский,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: maxmoskovsky74@yandex.ru;

Сергей Игоревич Борзенко,
младший научный сотрудник,
e-mail: serzhbk@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отмечено отсутствие машин и оборудования, способных качественно и с высокой производительностью очищать высокозагрязненный материал сои. Большинство применяемых зерноочистительных машин создавались для переработки материала, отвечающего нормам ГОСТ 17109-88 по содержанию сорной и масличной примеси соответственно 2 и 6 процентов. Фактически типовой состав отходов послеуборочной обработки сои может содержать от 20 до 60 процентов отходов, непригодных для извлечения сырого протеина, что делает данный материал полностью неразделимым. (*Цель исследования*) Определение оптимальной эффективности сепарирования гетерогенных сыпучих смесей в вертикально восходящем воздушном канале. (*Материалы и методы*) Использовались ротационный порционный классификатор РПК 30 и макетный образец прецизионного воздушного классификатора ПВК с колонковыми акселераторами воздушного потока. Определены зависимость полноты выделения примеси и эффективность процесса сепарации соевого отхода в пневмоклассификаторе нового типа от толщины акселераторов и высоты над обрабатываемым материалом. (*Результаты и обсуждение*) Установлено, что эффективность процесса сепарации высокозасоренного соевого материала в стандартном пневмоканале не превышала 20 процентов, а на прецизионном воздушном классификаторе степень разделения составила около 45 процентов. (*Выводы*) Типовые машины, в которых используется воздушный поток, не справляются с сильно засоренным материалом. Выравнивание скорости воздушного потока внутри слоя обрабатываемого материала и над ним при установке колонковых акселераторов воздушного потока способствует лучшей сепарации высокозагрязненного материала. Исследование указывает на то, что обрабатываемый материал может быть разделен воздушным потоком, но при условии использования специализированного пневмосепарирующего канала. За счет соотношения высоты колонковых акселераторов и высоты над материалом скорость воздушного потока внутри разделяемого слоя и над ним выравнивается.

Ключевые слова: соя, отходы, эффективность сепарирования, очистка, пневматический канал.

■ **Для цитирования:** Московский М.Н., Борзенко С.И. Распределение высокозагрязненного соевого материала в глубоком воздушном канале // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 42-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-42-48. EDN: BCAUPY.

Distribution of Heterogeneous, Highly Impure Soy Material in a Deep Air Channel

Maksim N. Moskovskiy,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: maxmoskovsky74@yandex.ru;

Sergey I. Borzenko,
junior researcher,
e-mail: serzhbk@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights a lack of machines and equipment capable of cleaning highly impure soybean material efficiently and productively. Most of the existing grain cleaning machines are designed for the materials conforming to GOST 17109-88 that specifies weed and oilseed impurity contents of 2 and 6 percent, respectively. In reality, a typical soybean post-harvest waste often contains 20 to 60 percent of material unsuitable for extracting raw protein, that makes this type of material completely non-separable for this type of machine. (*Research purpose*) The research aims to determine the optimal efficiency of separating heterogeneous bulk mixtures in a vertically ascending air channel. (*Materials and methods*) To accomplish this, the authors employed a rotary batch classifier RBK 30 and a prototype sample of a precision air classifier PAC with column air flow accelerators. The paper defines impurity separation completeness and soybean waste separation efficiency in a novel pneumatic classifier, considering the accelerator thickness and the height above the processed material. (*Results and discussion*) The findings reveal that traditional

pneumatic channels achieve no more than 20 percent of separation efficiency for highly impure soybean material, while the precision air classifier demonstrates approximately a 45 percent separation. (*Conclusions*) Typical air flow machines struggle with high impurity of material. The separation efficiency of highly impure material can be enhanced by equalizing the air flow velocity inside and above the layer of the separated material and installing a core air flow accelerator. The study indicates that the material being processed can be separated by air flow, provided a specialized pneumatic separation channel is used. Due to the ratio of the core accelerator height and the height above the material, the air flow velocity inside and above the separated layer is equalized.

Keywords: soybean, waste, separation efficiency, cleaning, pneumatic channel.

For citation: Moskovskiy M.N., Borzenko S.I. Raspreделение vysokozagryaznennogo soevogo materiala v glubokom vozdušnom kanale [Distribution of heterogeneous, highly impure soy material in a deep air channel]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 42-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-42-48. EDN: BCAUPY.

Соя относится к основным фуражным культурам как источник растительного белка для кормления сельскохозяйственных животных и птицы. Однако вследствие высокой рыночной цены сою количество добавляемого в корма сырого соевого протеина недостаточное [1]. Вместе с тем этот ценный компонент можно получить из отходов, образующихся при послеуборочной обработке сои [2]. Для этого битые и дробленые семена нужно отделить и очистить от примесей [3, 4].

Большинство зерноочистительных машин создавались для переработки материала заготавливаемой сои, соответствующего нормативам, принятым в ГОСТ 17109-88 «Соя. Требования при заготовках и поставках»: влажность 12-14%, содержание сорной примеси не выше 2%, масличной – 6% [5]. В действительности доля отходов, непригодных для извлечения сырого протеина, может составлять 20-60%, и их нельзя отделить на имеющихся очистительных машинах [6, 7].

Проблема заключается также в том, что мало изучены характеристики самого разделяемого материала [8]. Это – скорость витания, размерные параметры, прочие физико-механические характеристики, важные в процессах сепарации и калибровки [9, 10].

Цель исследования: определение оптимальной эффективности процесса сепарации для дифференцированных гетерогенных сыпучих смесей (отходов послеуборочной обработки сои) в вертикально восходящем воздушном канале.

На основе поставленной цели сформулированы задачи:

- определить типовой фракционный состав дифференцированных гетерогенных сыпучих смесей, как отходов послеуборочной обработки сои [11];
- изучить распределение смеси в типовом воздушном канале;
- провести исследования смеси в прецизионном воздушном канале с ускорителями воздушного потока.

Материалы и методы. Исследования проводились по методу В.Г. Ньютона и Г.В. Ньютона [12, 13].

Полноту выделения примеси вычисляли по формуле:

$$\varepsilon = \frac{M_{\Sigma \text{np}}}{M_{\text{O. np}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $M_{\Sigma \text{np}}$ – суммарная масса частиц примеси в осадочных камерах и пылеуловителях, г;

$M_{\text{O. np}}$ – общая масса примеси в исходном материале, г.

Потери частиц

$$\xi = \frac{M_{\Sigma \text{cm}}}{M_{\text{O. cm}}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где $M_{\Sigma \text{cm}}$ – суммарная масса частиц соевого материала в осадочных камерах и пылеуловителях, г;

$M_{\text{O. cm}}$ – общая масса соевого материала в исходном материале, г.

Эффективность процесса сепарации

$$E = \varepsilon - \xi \quad (3)$$

В исследовании использовались ротационный порционный классификатор (РПК-30); прецизионный воздушный классификатор с колонковыми акселераторами воздушного потока (ПВК); лабораторные весы *GF-600 «AND»* ($d = 0,001$ г), весы напольные «Гарант ВПН-500У» ($d = 0,01$ кг); пакет программы *MC-Excel*.

Исходный материал (*рис. 1*) влажностью 11,2% массой 30 кг получен после переработки сои на зерноочистительно-сортировальной машине «Леткус К-531 «Гигант». Это отход производства семян сои, содержащий сою целую – 9,71%, дробленную – 12,31, битую поперек – 4,21, битую вдоль – 55,39, жухлую и раздавленную – 5,29, примесь легкую (шелуха, полова, пыль) – 4,37, примесь минеральную – 6,61, семена других культур и неразвившуюся сою – 2,11%. По данному составу материала можно сделать вывод о том, что в отходах соевого производства содержится 81,62% высокобелкового соевого продукта. Соотнося исходный материал с приведенными показателями ГОСТ 17109-88, можно его характеризовать как сырье с высоким содержанием сорной примеси (Тиц З.Л., Анискин В.И., Баснакьян Г.А. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. М.: Машиностроение, 1967. 447 с.; Патент RU 2377077 C1).

Результаты и обсуждения. Провели сравнение результатов эффективности процесса сепарации на установке, имитирующей стандартный пневмоканал (РПК-30), и новом канале с колонковыми акселераторами воздушного потока (ПВК) (*рис. 2*).

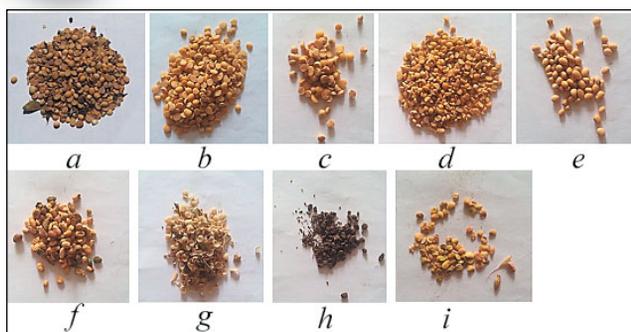


Рис. 1. Общий вид исходного материала и распределения его составных фракций: а – общий вид исходного материала; б – соя битая поперек; с – соя битая вдоль; д – дробленая (отколовшиеся кусочки); е – соя целая; ф – жухлая соя; г – легкая примесь; h – минеральная примесь; и – семена других культур
 Fig. 1. General view of the source material and the distribution of its constituent fractions: a – a general view of the source material; b – soy broken across; c – soy broken along; d – crushed (broken off pieces); e – whole soy; f – withered soy; g – light impurity; h – mineral admixture; i – seeds of other crops

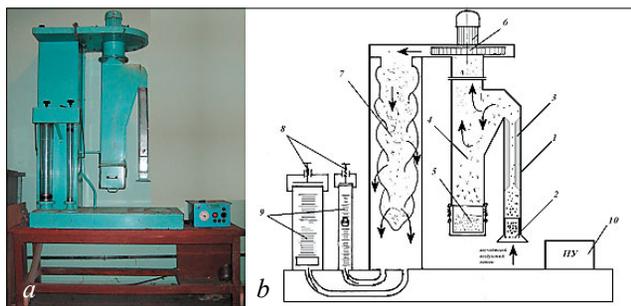


Рис. 2. Прецизионный воздушный классификатор с колонковыми акселераторами воздушного потока: а – общий вид; б – схема конструкции; 1 – пневмосепарирующий канал; 2 – загрузочная кассета с перфорированным дном; 3 – батарейный ускоритель воздушного потока; 4 – колонковый ускоритель воздушного потока; 5 – емкость сбора легкой фракции; 6 – вентилятор с электродвигателем; 7 – пылеуловители; 8 – устройство регулировки расхода воздуха; 9 – ротаметр; 10 – пульт управления
 Fig. 2. Precision Air Classifier with column air flow accelerators: a – general view; b – design diagram; 1 – pneumatic separation channel; 2 – loading cassette with perforated bottom; 3 – battery air flow accelerator; 4 – column air flow accelerator; 5 – container for receiving light fraction; 6 – fan with electric motor; 7 – dust collectors; 8 – device for adjusting air flow; 9 – rotameter; 10 – remote control

Эксперимент в обоих случаях проводился в трехкратной повторности. Загрузочная кассета наполнялась отдельно взятой одной из пяти фракцией материала: «целевой протеинсодержащий соевый продукт», «легкая примесь», «минеральная примесь», «жухлая соя» и «семена других культур». Кассета помещалась в аспирационную камеру, далее устанавливалась скорость воздушного потока в камере, и материал обрабатывался в течение 3 минут. Затем извле-

кали материал, улетевший в осадочную камеру, фиксировалась его масса и скорость воздушного потока, а опыт повторялся с повышением скорости воздушного потока до полного выноса материала из загрузочной кассеты.

По результатам исследований получены данные о распределении выхода фракций в зависимости от скорости воздушного потока (таблица) и построены интегральные кривые поля скоростей протеинсодержащего соевого продукта в диапазоне скорости витания 6-20 м/с. Сравнение его с прочими примесями позволяет оценить эффективность сепарации фракции «Целевой соевый продукт» и примесей.

По графикам частоты распределения минеральной примеси (рис. 3а) видно, что типовой воздушный канал без модернизаций способен с эффективностью 35,77% разделить данный вид материала, что позволяет классифицировать данную фракцию как трудноразделимую. После обработки на ПВК материал возможно сепарировать по аэродинамическим свойствам с эффективностью более 52%.

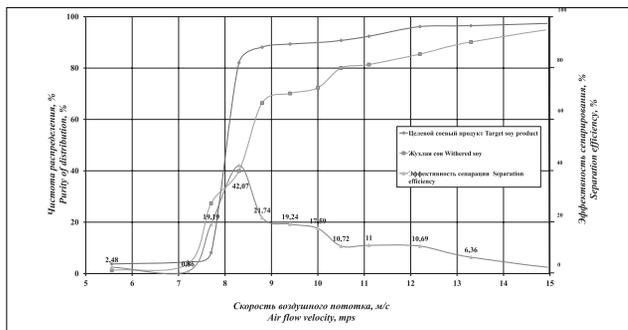
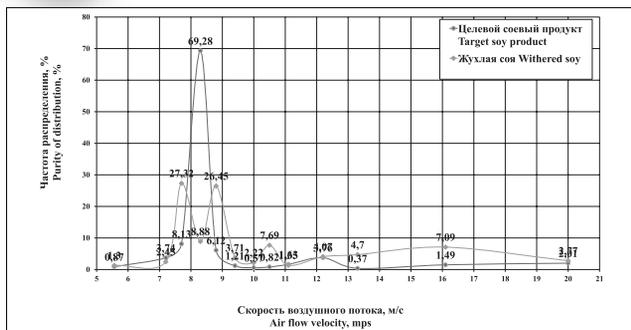
При разделении целевого соевого продукта и легкой примеси с использованием нового типа аспирационного канала эффективность процесса также увеличилась на 60% (рис. 3б). На 25% повысилась эффективность отделения фракции семян других культур (рис. 3с). И самую трудносепарируемую жухлую сою после обработки на ПВК с колонковыми акселераторами воздушного потока стало легче отделить: эффективность сепарации составила 42% по сравнению с 8% в стандартном канале (рис. 3д).

Для всех изученных вариантов смеси замечена закономерность повышения фракционирования при использовании колонковых акселераторов воздушного потока за счет выравнивания воздушного потока в аспирационной камере (Патент RU 2193929 С1).

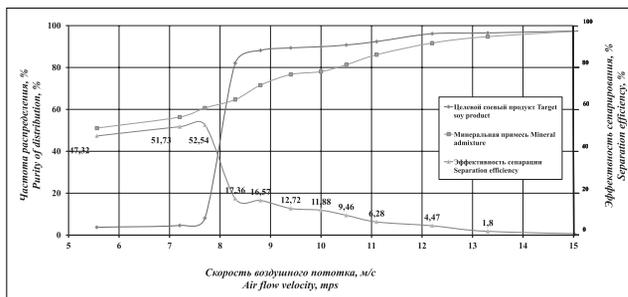
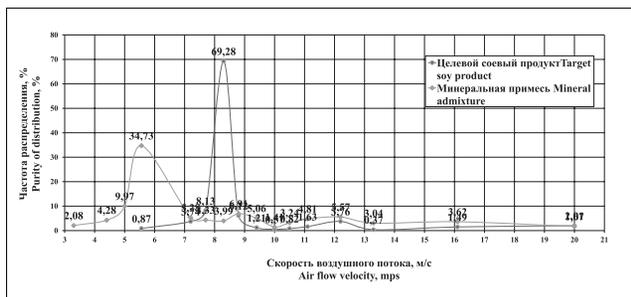
В сепарирующем пространстве (зазор между загрузочной кассетой и нижним основанием колонковых акселераторов воздушного потока) материал переходит в псевдооживленное и затем во взвешенное состояние.

В этом пространстве легкие частицы поднимаются вверх и их можно отделить, а более тяжелые (в том числе частицы сои) опускаются обратно в загрузочную кассету (перераспределяются). Данный эффект необходимо изучить в лабораторных или производственных условиях на типовых зерно-семячистительных машинах, либо разработать оригинальную схему процесса сепарации высокозагрязненного соевого продукта, если результат в серийных установках окажется неудовлетворительным. Для определения максимальной толщины колонковых акселераторов воздушного потока и высоты над сеткой требуется провести исследования непосредственно на зерно-семячистительной линии переработки высокозагрязненного соевого продукта [14].

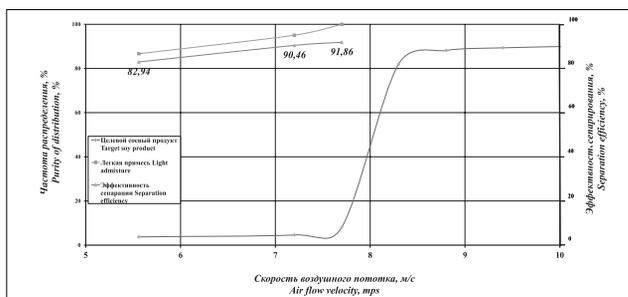
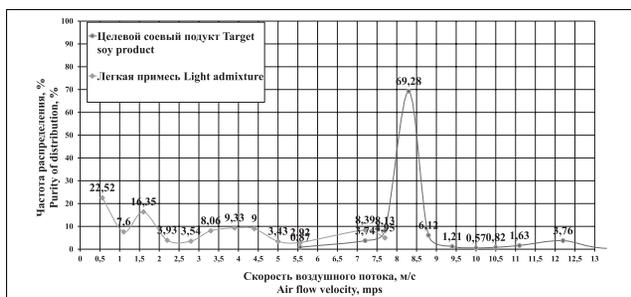
Интегральное распределение (ИР, %) и эффективность процесса сепарации (ЭС, %) материала в зависимости от скорости воздушного потока в РПК-30 и в ПВК Integral distribution (ID, %) and the material separation efficiency (SE, %) depending on the air flow velocity in Rotary Batch Classifier (RBC-30) and Precision Air Classifier (PAC)									
Скорость воздушного потока, м/с Air flow velocity, mps	Целевой соевый продукт Target soy product	Легкая примесь Light impurity		Минеральная примесь Mineral admixture		Семена других культур Seeds of other crops		Жухлая соя Withered soy	
	ИР / ID, %	ИР / ID, %	ЭС / SE, %	ИР / ID, %	ЭС / SE, %	ИР / ID, %	ЭС / SE, %	ИР / ID, %	ЭС / SE, %
<i>Ротационный порционный классификатор РПК-30 / Rotary batch classifier RBC-30</i>									
2,7	–	4,14	–	9,23	–	4,14	–	–	–
3,7	–	13,44	–	15,36	–	13,62	–	–	–
4,9	–	18,56	–	29,53	–	17,03	–	–	–
6	4,93	34,15	29,22	40,7	35,77	23,14	18,21	5,81	0,88
6,7	6,46	–	–	–	–	44	37,54	11,51	5,05
7,2	17,31	49,4	32,09	47,35	30,04	75,23	57,92	26,21	8,9
7,7	34,66	–	–	–	–	87,65	52,99	41,5	6,84
8,4	50,58	74,23	23,65	52,77	2,19	93,67	43,09	59,21	8,63
9	67,14	–	–	–	–	97,14	30	71,33	4,19
9,5	78,42	100	21,58	59,22	19,2	99,63	21,21	83,55	5,13
9,8	87,14	–	–	–	–	99,99	12,85	90,19	3,05
10,5	92,26	–	–	76,31	15,95	–	–	94,16	1,9
11	95,87	–	–	–	–	–	–	99,44	3,57
11,7	98,35	–	–	99,13	0,78	–	–	100,01	1,66
12,2	99,8	–	–	100	0,2	–	–	5,81	0,88
12,9	100,02	–	–	–	–	–	–	11,51	5,05
<i>Прецизионный воздушный классификатор ПВК / Precision Air Classifier PAC</i>									
0,56	–	7,6	–	–	–	–	–	–	–
1,1	–	30,1	–	–	–	–	–	–	–
1,6	–	46,4	–	–	–	–	–	–	–
2,2	–	50,4	–	–	–	–	–	–	–
2,8	–	53,94	–	–	–	–	–	–	–
3,3	–	62	–	4,28	–	5,17	–	–	–
3,9	–	71,33	–	6,36	–	7,83	–	–	–
4,4	–	80,33	–	16,33	–	14,15	–	–	–
5	–	83,76	–	51,06	–	21,85	–	–	–
5,56	3,74	86,68	82,94	56,34	47,32	81,85	18,11	1,26	2,48
7,2	4,61	95,07	90,46	60,67	51,73	1,62	77,24	3,75	0,86
7,7	8,13	100	91,98	64,66	52,54	87,66	6,51	27,32	19,19
8,3	82,02	–	–	71,57	17,36	90,95	5,64	39,95	42,07
8,8	88,14	–	–	76,63	16,57	94,11	2,81	66,4	21,74
9,4	89,35	–	–	78,04	12,72	97,14	4,76	70,11	19,24
10	89,92	–	–	81,28	11,88	98,31	7,22	72,33	17,59
10,5	90,74	–	–	86,09	9,46	100	7,57	80,02	10,72
11,1	92,37	–	–	91,66	6,28	–	–	81,37	11
12,2	96,13	–	–	94,7	4,47	–	–	85,44	10,69
13,3	96,5	–	–	98,32	1,8	–	–	90,14	6,36
16,1	97,99	–	–	99,99	0,33	–	–	97,23	0,76



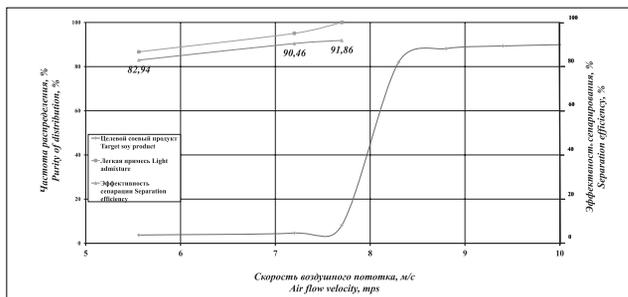
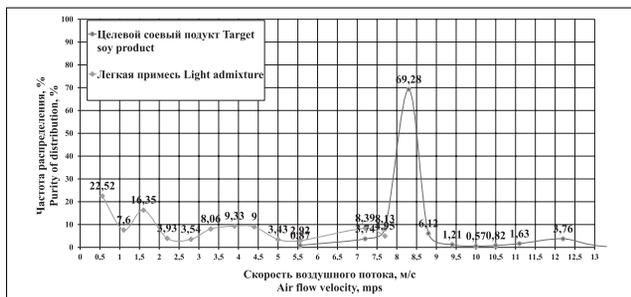
a. Целевой соевый материал и минеральная примесь / a. Target soy product and mineral admixture



b. Целевой соевый материал и легкая примесь / b. Target soy product and light admixture



c. Целевой соевый материал и примеси семян других культур / c. Target soy product and seeds of other crops



d. Целевой соевый материал и примесь (жухлая соя) / d. Target soy product and impurity (withered soy)

Рис. 3. Интегральные вариационные кривые поля скоростей воздушного потока и эффективность сепарирования целевого соевого материала и различных видов примеси (минеральная, легкая, семена других культур, жухлая соя) при обработке на РПК-30 (графики слева) и на ПВК (графики справа)

Fig. 3. Integral variational curves for air flow velocity field and separation efficiency of target soybean material from impurities (dried soybeans) in Rotary Batch Classifier RBC-30 (left) and Precision Air Classifier PAC (right)

Выводы. Анализ и сопоставление данных эксперимента позволяют сделать вывод о том, что при помощи стандартных пневмосепарирующих каналов весь протеинсодержащий продукт нельзя отделить от примесей, содержащихся в отходах сои. Ти-

повые машины с использованием воздушного потока не справляются с высокой засоренностью материала. Выравнивание скорости воздушного потока внутри слоя и над слоем обрабатываемого материала посредством установки колонковых аксе-

лераторов воздушного потока способствует лучше-му разделению смеси.

Характер распределения поля скоростей по компонентам исходного материала указывает на возможность разделения обрабатываемого материала воздушным потоком, но при условии применения специализированного пневмо-сепарирующего канала с колонковыми акселераторами воздушного потока. За

счет соотношения высоты колонковых акселераторов и высоты над обрабатываемым материалом происходит выравнивание скорости воздушного потока внутри слоя материала и над ним. Эффективность выделения будет варьироваться от 40-45%.

В дальнейшем ставится задача по повышению эффективности разделения высокозагрязненного исходного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. N1. С. 2-9. EDN: JXTJCH.
2. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Производство зернобобовых и крупяных культур в России: состояние, проблемы, перспективы // *Земледелие*. 2015. N4. С. 3-5. EDN: TZVJZF.
3. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., et al. The process of separation of husked soybean in oblique airflow. *Sustainability*. 2020. N12. 7566. DOI:10.3390/su12187566.
4. Хамуев В.Г., Московский М.Н., Борзенко С.И., Герасименко С.А. Исследование распределения скоростей воздушного потока в модели аспирационного канала для высокозасоренной соевой продукции // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N2(47). С. 86-90. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-2-86-90. EDN: EZXRPO.
5. Хамуев В.Г., Московский М.Н., Борзенко С.И. Лабораторные исследования опытного образца гравитационно-пневматического зерно-семяочистителя // *Инженерный вестник Дона*. 2018. N1(48). С. 89. EDN: XSMPQL.
6. Зюлин А.Н., Хамуев В.Г. Теоретическое исследование пневмосепарации зернового материала в вертикально восходящем потоке // *Техника в сельском хозяйстве*. 2008. N2. С. 3-6.
7. Московский М.Н., Хамуев В.Г., Герасименко С.А., Борзенко С.И. и др. Производственные испытания зерноочистительной машины с программно-аппаратным управлением в составе технологической линии // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4 (45). С. 112-117. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-112-117. EDN: LCMBQU.
8. Московский М.Н., Хамуев В.Г., Борзенко С.И. и др. Технологический аспект разделения семян кукурузы по индексу формы // *Естественные и технические науки*. 2019. N11(137). С. 182-184. EDN: SQKBKZ.
9. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of quality improvement in wheat seed processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4.
10. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. 62. 56-63. DOI:10.17221/32/2014-RAE.
11. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., et al. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. 54. 50-57. DOI:10.17221/8/2008-RAE.
12. Burkov A., Glushkov A., Lazykin V., Mokiev V. Substantiation of the main design parameters of the separation chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022. 23. 402-410. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410.
13. Бадретдинов И.Д., Мударисов С.Г. Научное обоснование и совершенствование пневматических систем сельскохозяйственных машин на основе описания технологического процесса // *Вестник НГИЭИ*. 2019. N9 (100). С. 12.
14. Хамуев В.Г. Распределение скоростей воздушного потока в глубоком пневмосепарирующем канале // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N4. С. 12-15..

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredst v posleuborochnoy obrabotke zerna i podgotovke semyan [Development and implementation of highly efficient, resource-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. N1. 2-9 (In Russian). EDN: JXTJCH.
2. Zotikov V.I., Naumkina T.S., Sidorenko V.S. Proizvodstvo zernobobovykh i krupyanykh kultur v Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy [Legumes and groat crops production in Russia: state, problems, perspectives]. *Zemledelie*. 2015. N4. 3-5 (In Russian). EDN: TZVJZF.
3. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., et al. The process of separation of husked soybean in oblique airflow. *Sustainability*. 2020. N12. 7566 (In English). DOI: 10.3390/su12187566.
4. Khamuev V.G., Moskovskiy M.N., Borzenko S.I., Gerasimenko S.A. Issledovanie raspredeleniya skorostey vozdušnogo potoka v modeli aspiratsionnogo kanala dlya vysokozasorennoy

- soevoy produktsii [The spreading of air flow velocities in the aspiration channel model for highly clogged soy products]. *Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N2(47). 86-90 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-2-86-90. EDN: EZXRPO.
5. Khamuev V.G., Moskovskiy M.N., Borzenko S.I. Laboratornye issledovaniya opytnogo obraztsa gravitatsionno-pnevmaticheskogo zerno-semyaochistitelya [Laboratory studies of a prototype of a gravity-pneumatic grain-seed cleaner]. *Inzhenernyyvestnik Dona*. 2018. N1(48). 89 (In Russian). EDN: XSMPQL.
 6. Zyulin A.N., Khamuyev V.G. Teoreticheskoe issledovanie pnevmoseparacii zernovogo materiala v vertikalno voskhodyashchem potoke [Theoretical research of pneumatic separation of grain material in the vertical raising air flow]. *Tekhnika v sel'skokhozyajstve*. 2008. N2. 3-6 (In Russian).
 7. Moskovskiy M.N., Khamuev V.G., Gerasimenko S.A., Borzenko S.I., et al. Proizvodstvennye ispytaniya zernoochistitel'noy mashiny s programmno-apparatnym upravleniem v sostavetehnologicheskoylinii [Production tests of a grain-cleaning machine with software and hardware control as part of a technological line]. *Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2021. Vol. 68. N4(45). 112-117 (In Russian). DOI: 10.22-314/2658-4859-2021-68-4-112-117. EDN: LCMBQU.
 8. Moskovskiy M.N., Khamuev V.G., Borzenko S.I., et al. Tekhnologicheskyy aspekt razdeleniya semyan kukuruzy po indeksu formy [The technological aspect of the separation of corn seeds by shape index]. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*. 2019. N11 (137). 182-184 (In Russian). EDN: SQBKBZ.
 9. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of quality improvement in wheat seed processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4 (In English).
 10. Kroulik M., Hüla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. 62. 56-63 (In English). DOI: 10.17221/32/2014-RAE.
 11. Lukaszuk J., Molenda M., Horabik J., et al. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. 54. 50-57 (In English). DOI: 10.17221/8/2008-RAE.
 12. Burkov A., Glushkov A., Lazykin V., Mokiev V. Substantiation of the main design parameters of the separation chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022. 23. 402-410 (In English). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410.
 13. Badretdinov I.D., Mudarisov S.G. Nauchnoe obosnovanie i sovershenstvovanie pnevmaticheskikh sistem sel'skokhozyaystvennykh mashin na osnove opisaniya tekhnologicheskogo processa [Scientific justification and improvement of pneumatic systems for agricultural machines based on the simulation of technological process]. *Vestnik NGIEI*. 2019. N9(100). 12 (In Russian).
 14. Khamuev V.G. Raspredelenie skorostey vozdušnogo potoka v glubokom pnevmosepariruyushchem kanale [Distribution of air flow velocities in a deep pneumatic separating channel]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N4. 12-15 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Московский М.Н. – научное руководство;

Борзенко С.И. – проведение научных исследований, написания основного текста статьи, подбор и формирование списка литературы, подготовка к публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Moskovskiy M.N. – scientific guidance;

Borzenko S.I. – conducting scientific research, writing the main text of the article, selecting and forming a list of references, preparing for publication.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

02.10.2023
08.11.2023

УДК 631.243



EDN: LYZUHY

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54

Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели

Михаил Геннадьевич Загоруйко,
кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Игорь Андреевич Башмаков,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: igorbash@bk.ru;
Кирилл Александрович Степанов,
младший научный сотрудник,
e-mail: 89999878895@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим преимущества сжигания растительных отходов в топливных установках: отсутствие конденсата, минимум золы, постоянная температура теплоносителя, эффективный теплообмен. Для усовершенствования таких установок, интенсификации режима сушки необходима информация об особенностях тепло- и массопереноса при высокотемпературной сушке влажных частиц. Поскольку изучать процесс сушки в реальной топке проблематично, исследования проводились на изотермической (холодной) модели в лабораторных условиях, приближенных к реальному процессу. *(Цель исследования)* Оценить эффективность предлагаемых аэродинамических моделей сушки растительных отходов и проверить адекватность математической модели сушки частиц во взвешенном слое. *(Материалы и методы)* На двух моделях взвешенного слоя с отличающимися различной аэродинамикой вихревых течений (факельной и циклонной) в камерах сгорания изучили кинетику сушки двух узких фракций лузги подсолнечника с эквивалентным диаметром частиц 0,25 и 1,5 миллиметров исходной влажностью 15 и 18 процентов. В разные моменты времени определяли температуру и влажность частиц лузги, а также температуру и относительную влажность выходящего сушильного агента. Процесс сушки происходил в периодическом режиме. *(Результаты и обсуждение)* При начальной влажности частиц лузги подсолнечника 15 процентов наблюдались два периода с падающей скоростью сушки, а при влажности 18 процентов таких периодов было три, первый из них был с постоянной скоростью. Отметим, что при исходной влажности лузги 15 процентов на кривых сушки практически отсутствует линейный участок. Это свидетельствует о протекании процесса во время снижения скорости сушки. *(Выводы)* Выявили наиболее эффективный по интенсивности режим сушки. Установили, что факельно-вихревой и циклонно-вихревой аэродинамический режимы обеспечивают сушку частиц в моделях, причем более интенсивно при циклонно-вихревом режиме. При анализе возможности перехода от модели к реальному процессу необходимо базироваться на сравнении оценок вероятного процесса с допустимыми условиями практической эксплуатации, что и показала модель сушки частиц во взвешенном слое. **Ключевые слова:** растительные отходы, сжигание, подсолнечная лузга, сушка, кинетика, аэродинамический режим, эффективность.

■ **Для цитирования:** Загоруйко М.Г., Башмаков И.А., Степанов К.А. Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 49-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54. EDN: LYZUHY.

Plant Waste Drying in an Isothermal Model

Mikhail G. Zagoruyko,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
senior researcher,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Igor A. Bashmakov,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: igorbash@bk.ru;
Kirill A. Stepanov,
junior researcher,
e-mail: 89999878895@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights advantages of using furnaces for processing vegetable waste, including the absence of condensation, minimal ash production, stable coolant temperature, and efficient heat exchange. To improve this machine and intensify the drying

process, it is necessary to gather data on the heat and mass transfer characteristics during high-temperature drying of moisture-laden particles. Due to the inherent challenges of studying the drying process in a real furnace, the experiment was conducted using an isothermal (cold) model under laboratory conditions closely resembling real-world processes. (*Research purpose*) The research aims to assess the effectiveness of the proposed aerodynamic models for drying plant waste and validate the mathematical model for drying particles in a suspended bed. (*Materials and methods*) The study employs two suspended bed models with distinct vortex flow aerodynamics (flare and cyclone) in combustion chambers. The study investigates the drying kinetics of two specific fractions of sunflower husks, each with an equivalent particle diameter of 0.25 and 1.5 millimeters, and initial moisture levels of 15 and 18 percent. At various time intervals, measurements were taken for both the temperature and humidity of the husk particles, in addition to recording the temperature and relative humidity of the drying agent as it exited. The drying process operated in a cyclical mode. (*Results and discussion*) When the sunflower husk particles had an initial moisture content of 15 percent, two phases of increasing drying rates were observed, while at an 18 percent moisture content, three such periods were identified, with the first period displaying a constant rate. The results suggest that when the husks start with an initial moisture content of 15 percent, the drying curves exhibit minimal linear segments. This observation implies that the process is occurring as the drying rate decreases. (*Conclusions*) The experiment reveals the most effective drying mode in terms of intensity. It becomes evident that both the flare-vortex and cyclone-vortex aerodynamic modes facilitate particle drying, with the cyclone-vortex mode delivering a notably more intense drying process. When transitioning from a model to a real-world process, it is essential to undertake a comparison of estimated processes with practical operational conditions, as exemplified by the particle drying model in a suspended bed.

Keywords: vegetable waste, combustion, sunflower husk, drying, kinetics, aerodynamic mode, efficiency.

■ **For citation:** Zagoruyko M.G., Bashmakov I.A., Stepanov K.A. Issledovanie protsessa sushki rastitel'nykh otkhodov v izotermicheskoy modeli [Plant waste drying in an isothermal model]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 49-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54. EDN: LYZUHY.

Древесные и растительные отходы служат ценным биотопливом с высокой теплотой сгорания и низким содержанием серы [1]. Производство биотоплива, как правило, не требует больших инвестиций и может быть организовано как в крупных, так и в малых масштабах. В качестве биотоплива используется любой вид возобновляемого сырья, в том числе отходы сельскохозяйственного производства [2]. Чтобы сжигание происходило эффективно с наибольшей теплоотдачей эти отходы должны быть примерно одинаковых размеров и формы, обеспечивающих необходимый контакт с кислородом воздуха.

Для сжигания растительных отходов, таких как лузга и гранулы лузги подсолнечника, опилок, применяются топки различных марок [3, 4]. Топочная установка состоит из камеры сгорания из огнеупорного материала с жаропрочной колосниковой решеткой. Она может оснащаться форсункой жидкого топлива или горелкой природного газа и использоваться комплексно с другими типами топок. Подача топлива регулируется автоматически в зависимости от требуемой температуры теплоносителя [5]. К преимуществам топливных установок относятся: отсутствие конденсата и осмоса, минимальное количество золы, постоянство температуры при сгорании теплоносителя на протяжении длительного периода и эффективный теплообмен [6]. Важно, что при использовании топок исключено попадание в высушиваемый материал продуктов сгорания и влаги.

Для устойчивого зажигания и горения частицы растительных отходов должны быть сухими [7]. От их влажности во многом зависят режимы сжигания

и конструктивные параметры топочной установки [8]. Информации об особенностях процессов тепло- и массопереноса при высокотемпературной сушке влажных частиц недостаточно. Поскольку изучать процесс сушки в реальной топке затруднительно, специальные экспериментальные исследования проводили на изотермической (холодной) модели. В этом случае материал загружают, вентилируют агентом сушки в реверсивном режиме, охлаждают и разгружают [9, 10]. Кроме того, в расположенной выше камере изменяют расход агента сушки с измерением его температуры термодатчиками [11].

Цель исследования – оценить эффективность предлагаемых аэродинамических моделей сушки растительных отходов; проверить адекватность математической модели сушки частиц во взвешенном слое.

Материалы и методы. Увлажненную лузгу подсолнечника двух узких фракций с эквивалентным диаметром частиц (R) 0,25, и 1,5 мм высушивали от начальной влажности (W_H) 15 и 18% до конечной (W_K), равной 6-7%. Процесс моделировался при двух способах сушки: факельно-вихревом и циклонно-вихревом (*рисунки 1 и 2*).

Аэродинамическая схема моделей сушки выбрана на основе предварительных исследований и анализа опубликованных источников и разработок (патенты RU 2236643C1 и RU 2237834C1, 2004). В лабораторных условиях, приближенных к реальному процессу, изучалась кинетика сушки двух узких фракций лузги подсолнечника, причем самая мелкая фракция была получена дроблением и просеиванием. Пе-

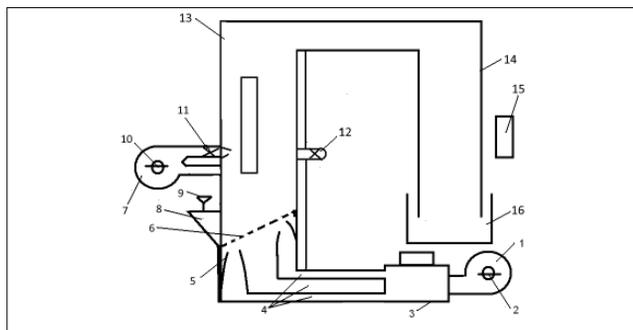


Рис. 1. Схема лабораторной установки с факельно-вихревым режимом: 1, 7 – вентиляторы; 2, 9–12 – клапаны; 3 – калорифер; 4 – воздушные каналы; 5 – сопло; 6 – решетка; 8 – емкость (с материалом); 13 – шахта воздухоподогревателей; 14 – воздушная труба; 15 – измерительный комплекс «Терем-4»; 16 – емкость для вынесенных частиц

Fig. 1. Diagram of laboratory installation with flare-vortex mode: 1, 7 – fans; 2, 9–12 – valves; 3 – heater; 4 – air channels; 5 – nozzle; 6 – grid; 8 – container (with material); 13 – shaft of air heaters; 14 – air pipe; 15 – measuring complex Terem-4; 16 – container for extracted particles

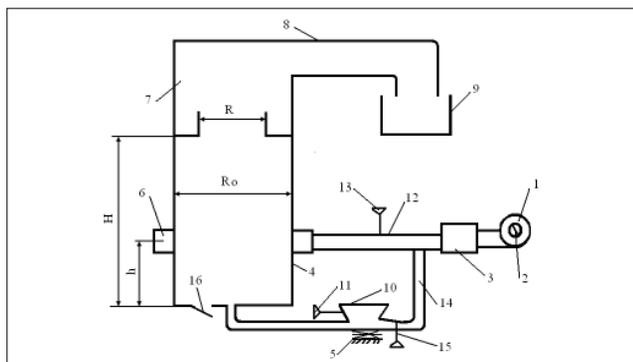


Рис. 2. Схема лабораторной установки с циклонно-вихревым режимом: 1 – вентилятор; 2 – заслонка; 3 – калорифер; 4 – камера; 5 – вибратор; 6 – коллектор вторичного дутья; 7 – пережим; 8 – труба подачи воздуха; 9 – емкость для вынесенных частиц; 10 – емкость (с материалом); 11 – задвижка емкости; 12 – труба подачи вторичного воздуха; 13 – задвижка на трубе вторичного воздуха; 14 – труба подачи первичного воздуха; 15 – задвижка на трубе первичного воздуха; 16 – разгрузочный клапан

Fig. 2. Diagram of laboratory unit with a cyclone-vortex mode: 1 – fan; 2 – damper; 3 – heater; 4 – chamber; 5 – vibrator; 6 – secondary blast collector; 7 – squeeze; 8 – air pipe; 9 – container for extracted particles; 10 – container (with material); 11 – container gate valve; 12 – secondary air pipe; 13 – gate valve on the secondary air pipe; 14 – primary air pipe; 15 – gate valve on the primary air pipe; 16 – discharge valve

риодически в процессе сушки регистрировали температуру и влажность частиц лузги, а также определяли температуру и относительную влажность выходящего сушильного агента [12]. Измерять эти параметры при выполнении исследований было необходимо для оценки момента окончания сушки [13].

Подготовленную навеску лузги высыпали в предварительно прогретую камеру при установленных режимах первичного и вторичного дутья и измерительных датчиков прибора «Терем 4». При факельно-вихревом режиме первичное дутье вместе с материалом подается над решеткой, а вторичное под решеткой соплами. Для циклонно-вихревого режима характерен определенный аэродинамический режим [14]. Первичная продувка проводится по центру камеры цилиндрической формы в нижней части, вторичная подача воздуха – циклонно на некоторой высоте. Лузгу продували воздухом температурой 75°C при оптимальных параметрах аэродинамического режима. Через каждые 15 секунд при сушке фракции 0,25 мм и каждые 30 секунд для остальных фракций камеру отключали от вентилятора (вентилятор и калорифер оставались включенными). Навеску высыпали в бюкс, взвешивали на технических весах с точностью $\pm 0,001$ г и измеряли температуру частиц ($\pm 1^\circ\text{C}$), чтобы установить, какая часть теплоты (η_M) расходуется на испарение влаги. Лузгу снова помещали в камеру и сушку продолжали. Взвешивание и замер температуры ($\sim 0,5$ минуты) в общем времени сушки не учитывались. Лузгу высушивали до конечной влажности $W_K = 6-7\%$, которая приблизительно на 2% выше равновесной, но ниже кондиционной для семян подсолнечника (около 11%). Опыты проходили в периодическом режиме в трехкратной повторности. Использовались методы статистической обработки полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Масса загруженных частиц была 0,02 и 0,01 кг соответственно для факельно-вихревого и циклонно-вихревого режима. Отношение скоростей составляло $V_1/V_2 = 5$ и $V_1/V_B = 1,2$ (V_1, V_2, V_B – скорости первичного, вторичного дутья и витания частиц, м/с). Графические зависимости влажности (W) и температуры частиц (θ) от времени сушки (τ) для этих режимов приведены на рисунке 3.

При начальной влажности частиц лузги $W_H = 15\%$ наблюдаются два периода сушки с падающей скоростью, а при $W_H = 18\%$ – три периода, причем первый из них с постоянной скоростью. Температура частиц влажностью 15% с самого начала сушки возрастает, а через 30 секунд в фракции 0,25 мм и через 100 секунд в фракции 1,5 мм отстает от температуры сушильного агента на 3–5°C. Отмечено, что температура частиц при факельно-вихревом аэродинамическом режиме на 3–4°C ниже, чем при циклонно-вихревом. Таким образом, при циклонно-вихревом режиме сушка протекает интенсивнее, причем с увеличением размера частиц интенсивность и эффективность процесса повышаются.

Экспериментальные кривые сушки (зависимость среднего содержания влаги в частицах от времени сушки) имеют монотонный характер. Это означает, что кинетика процесса определяется в основном внеш-

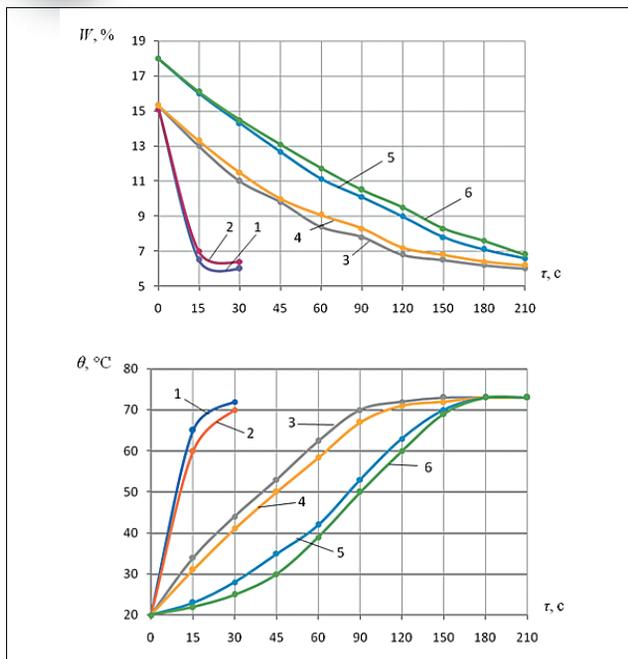


Рис. 3. Зависимость влажности (W) и температуры (θ) частиц от времени сушки (τ) лузги и аэродинамического режима: 1, 3, 5 – циклонно-вихревой режим; 2, 4, 6 – факельно-вихревой режим; 1, 2 – фракция 0,25 мм; 3–6 – фракция 1,5 мм
 Fig. 3. Dependence of particle moisture (W) and temperature (θ) on drying time (τ) for husks and aerodynamic mode: 1, 3, 5 – cyclone-vortex mode; 2, 4, 6 – flare-vortex mode; 1, 2 – fraction 0.25 mm; 3–6 – fraction 1.5 mm

ними условиями нагревания, а внутри материала не происходят явления, существенно влияющие на процесс сушки.

При исходной влажности лузги $W_H = 15\%$ на кривых сушки практически отсутствует линейный участок, т.е. процесс протекает в период снижения скорости. При определенном содержании влаги процесс замедляется, поскольку обезвоживаются поверхностные слои лузги и углубляется фронт интенсивного испарения. Кинетика влажности и температуры указывает на формирование внутри материала двух зон: «сухой» с содержанием влаги, близким к равновесному, и «влажной» с небольшим изменением влагосодержания. Граница между зонами постепенно углубляется, и температура частиц на этой границе близка к температуре сушильного агента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голобоков С.В., Мухамедьярова Н.К., Лёсин И.А. Технологии переработки и утилизации отходов деревообработки // *Инжиниринг и технологии*. 2019. Т. 4. N2. С. 32-37. DOI: 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5. EDN: MDZTJSJ.
2. Судакова И.Г., Руденко Н.Б. Получение твердых биотоплив из растительных отходов (обзор) // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2015. Т. 8. N4. С. 499-513. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-4-499-513. EDN: VOABJT.
3. Шаяхметова А.Х., Тимербаева А.Л., Борисова Р.В. Сравнительные характеристики пеллет из лузги подсолнечника и древесных гранул // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. N2. С. 243-246. EDN: TJLTKL.

Процессы переноса тепла и переноса влаги внутри материала можно рассматривать отдельно друг от друга, т.е. наличие «сухой» и «влажной» зон, приняты для рассматриваемой модели, обосновано. Это позволяет пренебречь неравномерным переносом жидкой фазы и считать распределение влагосодержания частиц в каждой из зон равномерным.

При анализе полученных результатов следует иметь в виду, что в реальной топке и в модели сравниваются результаты при постоянном соотношении скорости первичного и вторичного дутья ($V_1/V_2 = const$).

Установлено, что длительность сушки по достижении влажности $W_K/W_H = 0,3$ по сравнению с теоретическим расчетом необходимого времени на основе математических моделей (как с учетом коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности, так и при равномерном переносе) удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными при коэффициенте теплопередачи около 20 для циклонно-вихревого и 18 для факельно-вихревого режима [15].

Выводы. Факельно-вихревой режим несущественно отличается от циклонно-вихревого по интенсивности сушки. Данные аэродинамические режимы обеспечивают сушку частиц в моделях, причем более интенсивный процесс реализуется при циклонно-вихревом режиме. С увеличением размеров фракций интенсивность и эффективность сушки возрастают.

Для понимания оптимальных значений технологических и энергетических процессов изотермической сушки необходимы уравнения, являющиеся оптимальными по критерию минимума среднего квадрата ошибки.

Моделирование по существу является имитацией, так как конструируются модели технологических и энергетических процессов по неполным, но нужным основным показателям эффективности функционирования. Точность решается увеличением числа элементарных моделей, которые позволяют получать более значительную информацию о поведении объекта в конкретных условиях эксплуатации, тем самым усовершенствуется модель, находятся решения для повышения эффективности работы установки.

При переходе от модели к реальному процессу необходимо базироваться на сравнении оценок вероятного процесса с допустимыми условиями практической эксплуатации, что и показала модель сушки частиц во взвешенном слое.

4. Alithawi W.K.A. Production of biofuel from wood. *Eastern European Scientific Journal*. 2014. N3. 206-218. DOI: 10.12851/EESJ201406C06ART04. EDN: TXUDHH.
5. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25. EDN: QCBKWJ.
6. Manigomba J.A., Chichirova N.D., Gruzdev V.B., et al. Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. N1. 1371-1382. EDN: EOSTDB.
7. Любов В.К., Цыпнятов И.И. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2023. N1 (391). С. 172-185. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-172-185.
8. Arshadi M., Gref R., Geladi P., et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89. Iss. 12. 1442-1447. DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.001.
9. Дадыко А.Н. Моделирование аэродинамики факельно-вихревого режима в топке для растительных отходов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N2. С. 32-35.
10. Лобачевский Я.П., Пехальский И.А., Павлов С.А. Расчет изотермической сушки зерна // *Сельский механизатор*. 2019. N 8. С. 22-23. EDN: OQXPPO.
11. Голубкович А.В. Беленькая Л.И., Дадыко А.Н., Ловкис В.Б. Опыт сжигания растительных отходов в топочном блоке ТБР-2.0 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N1. С. 37-41. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-1-37-41>.
12. Павлов С.А., Пехальский И.А., Кынев Н.Г. Особенности сушки семян при сжигании твердого топлива переменного качества // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3. С. 81-85. EDN: SKEWYZ.
13. Сосин Д.В., Литун Д.С., Рыжий И.А. и др. Опыт сжигания лузги подсолнечника в пылеугольных котлах Кумертауской ТЭЦ // *Теплоэнергетика*. 2020. N1. С. 15-22. DOI: 10.1134/S0040363619120099. EDN: ZNJRBS.
14. Измайлов А.Ю., Голубкович А.В., Павлов С.А., Дадыко А.Н. Условия работы зерносушилки с топочным блоком на растительных отходах // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017. N4. С. 69-72. EDN: ZXIYQD.
15. Щеткин Б.Н. Математическая модель процесса сушки дисперсных материалов во взвешенном состоянии // *Sciences of Europe*. 2021. N1. С. 45-50. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-85-1-45-50. EDN: LXYYVA.

REFERENCES

1. Golobokov S.V., Mukhamed'yarova N.K., Lesin I.A. Tekhnologii pererabotki i utilizatsii otkhodov derevoobrabotki [Reproduction and utilization technology of woodworking waste] *Inzhiniring i Tekhnologii*. 2019. Vol. 4. N2. 32-37 (In Russian). DOI: 10.21685/2587-7704-2019-4-2-5. EDN: MDZTJSI.
2. Sudakova I.G., Rudenko N.B. Poluchenie tverdykh biotopliv iz rastitel'nykh otkhodov (obzor) [Obtaining of solid biofuels from plant waste (Review)]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya*. 2015. Vol. 8. N4. 499-513 (In Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-4-499-513.
3. Shayakhmetova A.H., Timerbaeva A.L., Borisova R.V. Sravnitel'nye kharakteristiki pellet iz luzgi podsolnechnika i drevesnykh pellet [Comparative characteristics of sunflower husk and wood pellets]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18. N2. 243-246 (In Russian). EDN: TJLTKL.
4. Alithawi W.K.A. Production of biofuel from wood. *Eastern European Scientific Journal*. 2014. N3. 206-218 (In English). DOI: 10.12851/EESJ201406C06ART04. EDN: TXUDHH.
5. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25 (In English). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25. EDN: QCBKWJ.
6. Manigomba J.A. Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi. J.A. Manigomba, N.D. Chichirova, et al. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. N1. 1371-1382 (In English). EDN: EOSTDB.
7. Lyubov V.K., Tsypnyatov I.I. Povyshenie effektivnosti energeticheskogo ispol'zovaniya biotopliva [Improving the efficiency of energy use of biofuels]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy Zhurnal*. 2023. N1(391). 172-185 (In Russian). DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-172-185.
8. Arshadi M., Gref R., Geladi P., et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89. N12. 1442-1447 (In English). DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.001.
9. Dadyko A.N. Modelirovanie aerodinamiki fakel'no-vikhrevogo rezhima v topke dlya rastitel'nykh otkhodov [Modeling of aerodynamics of flare and vortex mode in a fire chamber for vegetable waste]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N2. 32-35 (In Russian).
10. Lobachevsky Ya.P., Pekhal'skiy I.A., Pavlov S.A. Raschet izotermicheskoy sushki zerna [Calculation of isothermal drying of grain]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2019. N8. 22-23 (In Russian). EDN: OQXPPO.
11. Golubkovich A.V., Belen'kaya L.I., Dadyko A.N., Lovkis V.B. Opyt szhiganiya rastitel'nykh otkhodov v topochnom bloke TBR-2.0 [Experience in vegetable waste burning in furnace block TBR-2.0]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N1. 37-41 (In Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-1-37-41>.
12. Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Kynev N.G. Osobennosti sushki semyan pri szhiganii tverdogo topliva peremennogo kachestva [Specifics of seed drying during combustion of variable-quality solid fuel]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3. 81-85 (In Russian). EDN: SKEWYZ.

13. Sosin D.V., Litun D.S., Ryzhiy I.A., et al. Opyt szhiganiya luzgi podsolnechnika v pyleugol'nykh kotlakh Kumertauskoy TETs [Experience of burning sunflower husks in the Kumer-tau CHP pulverized coal-fired boilers]. *Teplenergetika*. 2020. N1. 15-22 (In Russian). DOI: 10.1134/S0040363619120099. EDN: ZNJRBS.
14. Izmailov A.Yu., Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Dadyko A.N. Usloviya raboty zernosushilki s topochnym blokom na rastitel'nykh otkhodakh [Operating conditions of the grain dryer with a combustion space on the vegetation residues]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2017. N4. 69-72 (In Russian). EDN: ZXIYQD.
15. Shchetkin B.N. Matematicheskaya model' processa sushki dispersnykh materialov vo vzveshennom sostoyanii [Mathematical model of the drying process of dispersed materials in suspended state]. *Sciences of Europe*. 2021. N1. 45-50 (In Russian). DOI: 10.24412/3162-2364-2021-85-1-45-50. EDN: LXYVVA.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Загоруйко М.Г. – научное руководство, подготовка начального варианта статьи, литературный анализ;

Башмаков И.А. – компьютерные работы, обработка результатов исследований, доработка текста, формулирование общих выводов;

Степанов К.А. – участие в обсуждении материалов статьи, анализ и дополнение текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Zagoruyko M.G. – scientific guidance, preparing the manuscript initial version;

Bashmakov I.A. – computer work, research results processing, text refinement, formulating general conclusions, literature review;

Stepanov K.A. – participation in the discussions of the article materials, text analysis and additions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.10.2023
16.11.2023

Температурные показатели охлаждающих жидкостей для аккумуляторов электротракторов и электромобилей

Отари Назирович Дидманидзе,
академик РАН, доктор технических наук, профессор,
e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru;

Екатерина Петровна Парлюк,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru;

Александр Игоревич Сучков,
соискатель на ученую степень
кандидата технических наук,
e-mail: suchkov_ai@yandex.ru;

Александр Вячеславович Бугаев,
кандидат технических наук, доцент кафедры,
e-mail: a.bugaev@rgau-msha.ru;

Николай Николаевич Пуляев,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: pulyaev@rgau-msha.ru;

Артёмбек Сергеевич Гузалов,
кандидат технических наук, доцент кафедры,
e-mail: guzalov@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим тенденцию перехода в мировом сельском хозяйстве на более экономичные и экологичные электромобильные средства в связи с ростом цен на топлива и горюче-смазочные материалы. Широкое применение электромобильных средств для выполнения сельскохозяйственных работ ограничивается такими факторами, как производительность, стоимость, срок службы и безопасность тяговых батарей. Система управления температурным режимом батареи играет ключевую роль в контроле продолжительности ресурса батареи. *(Цель исследования)* Проанализировать современные системы охлаждения электрических аккумуляторов, определить тип охлаждающей жидкости, способной поддерживать оптимальную температуру тяговой батареи в любых климатических условиях. *(Материалы и методы)* Рассмотрены системы и методы охлаждения, используемые в управления температурным режимом батареи. Представлен теоретический анализ эффективности терморегулирования тяговых батарей, т.е. возможности повышения производительности аккумулятора за счет поддержания температуры батареи на требуемом уровне. Для сравнения выбраны несколько брендов электромобилей мировых автопроизводителей. *(Результаты и обсуждение)* Наиболее важным требованием к эффективной системе охлаждения является быстрый отвод тепла, когда батарея нагрета и при запуске система охлаждения должна работать медленно, чтобы не снижать эффективность электромобиля. На основании этого критерия представлены статистические данные режимов и условий работы тяговых батарей и их оптимальный диапазон рабочих температур. Выполнены расчеты для трех типов охлаждающих жидкостей: аммиака, этиленгликоля и фреона R134a. *(Выводы)* Хотя выходная температура этиленгликоля составляет 22,2 градуса Цельсия, выше на 3,3 градуса, чем у аммиака, и на 0,5 градуса выше, чем у тетрафторэтана, этот хладагент подходит для использования в медных трубках.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, электротракторы, электромобили, система охлаждения, тяговые аккумуляторные батареи, производительность аккумулятора, охлаждающая жидкость.

■ **Для цитирования:** Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Сучков А.И., Бугаев А.В., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С. Температурные показатели охлаждающих жидкостей для аккумуляторов электротракторов и электромобилей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 55-61. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-55-61. EDN: SPTZND.

Coolant Temperature Indicators for Batteries in Electric Tractors and Vehicles

Otari N. Didmanidze,
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru;

Ekaterina P. Parlyuk,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru;

Alexander I. Suchkov,
Ph.D. applicant,
e-mail: suchkov_ai@yandex.ru;

Alexander V. Bugaev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: a.bugaev@rgau-msha.ru;

Nikolay N. Pulyaev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: pulyaev@rgau-msha.ru;

Artembek S. Guzalov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: guzalov@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper accentuates a noticeable shift toward more economical and environmentally friendly electric vehicles within global agriculture, prompted by the growing prices of fuels and lubricants. The widespread adoption of electric vehicles for agricultural tasks encounters limitations, including such factors as performance, cost, service life and safety of traction batteries. The battery thermal management system assumes a key role in regulating battery life. (*Research purpose*) The study aims to analyze contemporary cooling systems for electric batteries, to identify the type of coolant capable of sustaining the optimal temperature of the traction battery under diverse climatic conditions. (*Materials and methods*) The paper examines the cooling systems and methods employed for battery temperature control. It provides a theoretical analysis of the effectiveness of thermal regulation for traction batteries, specifically exploring the potential to enhance battery performance through the maintenance of temperature at the required level. To facilitate comparison, several brands of electric vehicles from global automakers were selected. (*Results and discussion*) The paramount criterion for an effective cooling system is its capacity to rapidly dissipate heat during periods of elevated battery temperature while operating at a gradual pace during startup, thereby ensuring minimal impact on the efficiency of the electric vehicle. Based on this criterion, the paper provides statistical data regarding the modes and operating conditions of traction batteries, including their optimal operating temperature range. Calculations were conducted for three coolant types: ammonia, ethylene glycol and freon R134a. (*Conclusions*) Despite having an outlet temperature of 22.2 degrees Celsius, ethylene glycol registers 3.3 degrees higher than ammonia and 0.5 degrees higher than tetrafluoroethane, this refrigerant is suitable for application in copper piping.

Keywords: agricultural machinery, electric tractors, electric vehicles, cooling system, traction batteries, battery performance, coolant.

For citation: Didmanidze O.N., Parlyuk E.P., Suchkov A.I., Bugaev A.V., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Temperaturnye pokazateli okhlazhdayushchikh zhidkostey dlya akkumulyatorov elektrotraktorov i elektromobiley [Coolant temperature indicators for batteries in electric tractors and vehicles]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 55-61 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-55-61. EDN: SPTZND.

Применение производственных и транспортных средств электромобильной техники для решения задач в сельскохозяйственной сфере становится все более актуальным. Современные электромобили и электротракторы пригодны для выполнения не только сельскохозяйственных работ, но и различных технологических операций. Наряду с уборочными работами их можно использовать для доставки сельскохозяйственной продукции, что может значительно улучшить логистику. Также электромобили эффективны в пригородных хозяйствах, где приходится часто перемещаться между городом и фермой. Сферы применения электромобилей в агросекторе продолжают расширяться [1]. Важным является экологичность электромобилей и отсутствие выбросов вредных веществ в окружающую среду и воздух [2]. Кроме того, электричество может генерироваться из возобновляемых источников энергии.

В большинстве случаев в электромобилях используют свинцово-кислотные или литий-ионные аккумуляторы. Для зарядки литий-ионных аккумуляторов требуется меньше времени, чем свинцово-кислотных. При непрерывной, длительной работе электромобиля под солнцем увеличивается внутреннее тепловыделение и повышается температура системы

аккумуляторной батареи, что приводит к снижению производительности, сбою, а небольшое изменение схемы подключения – к короткому замыканию. Из-за нагревания потребляется больше энергии, меньше пробег на одном заряде, увеличивается время зарядки, сокращаются сроки службы и емкость батареи, снижается потенциальная экономичность.

Цель исследования – проанализировать современные системы охлаждения тяговых батарей электромобилей, определить тип охлаждающей жидкости, которая способна поддерживать оптимальную температуру батареи в любых климатических условиях эксплуатации.

Материалы и методы. Во время работы температура аккумуляторов должна оставаться в допустимых пределах. Соблюдение этого условия имеет решающее влияние на долговечность и производительность батареи. Аккумуляторы предназначены для работы в диапазоне температуры окружающей среды от 68 до 77°F (от 20 до 25°C). В рабочем режиме они могут выдерживать температуру от –30 до +50°C, а при зарядке – от 0 до +50°C. При температуре 70-100°C возникает риск неконтролируемого тепловыделения, происходит цепная реакция и физическое разрушение структуры аккумуляторов.

В случае быстрой зарядки и прохождения через аккумулятор большого тока выделяется избыточное тепло, которое нужно отводить во избежание перегрева батареи. При слишком низкой температуре аккумулятор, наоборот, следует разогревать. Например, аккумуляторы нельзя заряжать, если температура ниже 0°C [3]. В некоторых моделях для достижения высокой производительности такие автомобильные компании, как *Tesla*, *KIA*, *BMW*, предлагают предварительно нагревать аккумулятор, разгоняя скорость от 0 до 100 км/ч менее, чем за 2 секунды.

Система охлаждения позволяет улучшить характеристики электромобиля и увеличить срок службы аккумуляторной батареи. Наиболее распространены системы с воздушным, жидкостным охлаждением и применением материала с фазовым переходом. Оптимальный диапазон рабочих температур для литий-ионных аккумуляторов составляет от 25 до 40°C [4].

В качестве среды, отводящей тепло, можно использовать воздух [5]. Данный способ осуществляется с помощью вентиляторов для увеличения воздушного потока над охлаждаемым объектом (рис. 1). Эта система используется в гибридных автомобилях *Toyota Prius* [6]. Аккумулятор охлаждается кондиционированным воздухом, который проходит над батареей и через нее. В автомобилях более поздних поколений применяется независимое воздушное охлаждение, и в такой системе предусмотрен испаритель. Хладагент при низкой температуре испаряется, поглощая тепло, а батарея охлаждается до более низкой температуры, чем в салоне.

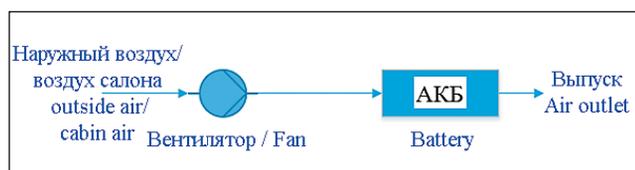


Рис. 1. Схема воздушного охлаждения [6]

Fig. 1. Air cooling system

При изучении вопросов эффективности воздушного охлаждения тяговых электробатарей выявлены теоретические и экспериментальные зависимости систем питания электро- и гибридных тягово-транспортных средств [7]. Проведены исследования воздушного охлаждения на основе интегральных схем (Патент RU 2780381 C1). Для этого применялись методы естественной, принудительной и смешанной конвекции охлаждения «горячих точек» в микросхемах блока управления аккумуляторных модулей. Однако в некоторых случаях к деталям внутри транспортных средств нет доступа охлаждающего воздуха [8].

В закрытой системе, когда внутрь батареи к деталям поступает меньший объем воздуха, при температуре окружающей среды более 35°C и высокой скорости отвода теплового потока предпочтительно жид-

костное охлаждение. Жидкости характеризуются высокими показателями теплопроводности и коэффициента теплопередачи, поэтому конструкция системы охлаждения достаточно простая [9]. Скорость потока жидкого хладагента можно увеличить и создать контур рециркуляции. Иногда в системах жидкостного охлаждения возникают проблемы: утечка, коррозия, лишний вес, конденсация и даже кавитация в трубках, по которым циркулирует хладагент [10].

К основным требованиям к охлаждающей жидкости относятся высокая удельная теплоемкость, низкая вязкость, высокая прозрачность при парообразовании, высокая температура кипения и низкая температура замерзания. Кроме этого жидкость не должна вызывать коррозию и воспламеняться [11].

Системы жидкостного охлаждения бывают прямого и непрямого типа, соответственно при наличии или отсутствии контакта компонентов [12]. В зависимости от того, выводится жидкость из контура охлаждения или после ее нагрева возвращается, различают замкнутые и разомкнутые системы. Горячая жидкость в замкнутом контуре системы охлаждается и рециркулирует.

С помощью термоэлектрических модулей электрическое напряжение может быть преобразовано в разность температур. Теплопередача происходит непосредственно за счет потребления электроэнергии. Этот способ называют также термоэлектрическим охлаждением (рис. 2), его можно использовать и для обогрева, если поменять местами полюса.

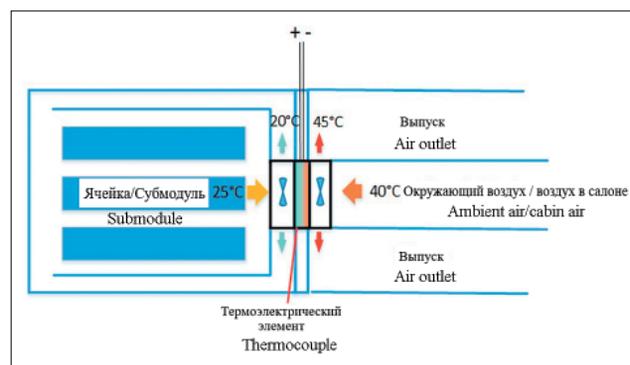


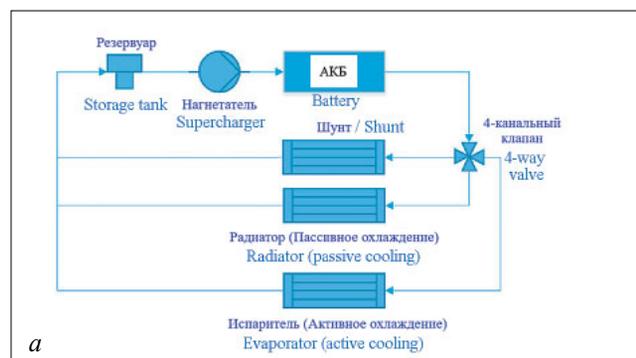
Рис. 2. Схема термоэлектрического охлаждения [12]

Fig. 2. Thermoelectric cooling system

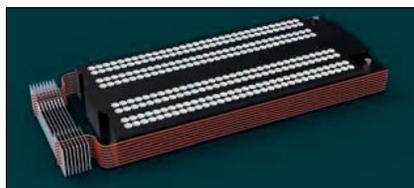
В холодных условиях эксплуатации электрохимические процессы замедляются, а общее внутреннее сопротивление увеличивается [13]. Из-за медленной инициализации запуск автомобиля затрудняется. Эту проблему можно решить путем внешнего обогрева модуля батареи с помощью электронагревателя либо внутреннего нагрева каждой ячейки подогретой терморегулирующей жидкостью [14].

Сегодня на рынке представлены технологии охлаждения, направленные на оптимизацию затрат и повышение производительности аккумуляторной

системы. Производители электромобилей после проведения обширного исследования предпочли комбинированную систему (рис. 3а), как наиболее эффективную концепцию контроля температуры батарей. В этой системе введен дополнительный элемент – шунт, который представляет собой оболочку из трубок капиллярно-сетной структуры со спеченным медным порошком (рис. 3б) [14]. Шунт используется в качестве испарителя, который во время работы поглощает тепло, рассеивает его в конденсаторе и снова переходит в жидкое агрегатное состояние.



а



б

Рис. 3. Комбинированная система охлаждения: а – общая схема; б – CAD-модель шунта [14]

Fig. 3. Combined cooling system: a – overview diagram; б – computer-aided design (CAD) model of the shunt [14]

Такая система имеет несколько рабочих режимов: обогрев, пассивное охлаждение и активное охлаждение. Пассивное охлаждение считается более предпочтительным, поскольку система отличается простой архитектурой и низким энергопотреблением. Материалом для шунта служит медь. Шунт выполняет функцию двухфазного устройства теплопередачи с высокой теплопроводностью.

Одним из направлений снижения металлоемкости узлов является применение полимерных материалов с металлическим оребрением, выдерживающих термические нагрузки. Как правило, эти материалы применяются для пассивного управления температурой и разрабатываются как альтернатива активному охлаждению. Преимущества полимерных материалов – более низкая стоимость, малый вес, устойчивость в агрессивных средах при поглощении такого же количества тепла, как традиционными материалами.

Проведены исследования по охлаждению интегральных схем, которые представляют собой блочно-модульную систему [15]. Силовые агрегаты

тягово-транспортных средств при различных нагрузках и режимах эксплуатации охлаждали методами естественного, принудительного и смешанного терморегулирования. Предложен способ определения термодинамических показателей блочно-модульной системы с использованием алгоритма, позволяющего определить теплоотдачу не только штатных радиаторов, но и изготовленных из полимерных материалов и с измененными конструктивными элементами. Это решение эффективно для многоуровневых контуров охлаждения, в связи с чем принятая методология применима и для аккумуляторных модулей.

Результаты и обсуждение. Система управления температурным режимом литий-ионного аккумулятора работает при температуре от 10 до 55°C. Для поддержания температуры использовали аммиак, этиленгликоль, фреон R134a (тетрафторэтан), воздух и воду. Для каждого вида охлаждающего агента рассчитывали температуру на выходе, чтобы оценить, какой из них обеспечит большее охлаждение батареи.

• Аммиак: удельная теплоемкость 2,2 кДж/(кг·К), плотность 0,73 кг/м³, скорость 0,15 м/с, тепловыделение батареи 230,72 Вт, температура жидкого аммиака T₁ = 40°C, температура «горячей» жидкости 40°C.

Объемный расход (Q_{NH₃}) определяется произведением скорости и площади сечения трубки:

$$Q_{NH_3} = 0,15 \cdot (n \cdot d^2 / 4) = 0,15 \cdot \pi \cdot ((3,5 \cdot 10^{-3}) / 2)^2 = 6,80 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с} \quad (1)$$

Массовый расход

$$\Delta Q_{NH_3} = Q_{NH_3} \cdot \rho_{NH_3} = (6,80 \cdot 10^{-5}) \cdot 0,73 = 4,46 \cdot 10^{-5} \text{ кг} / \text{с} \quad (2)$$

Из уравнения теплового баланса:

$$\Delta T_{NH_3} = \Delta Q_{NH_3} \cdot Cp \cdot dT; \quad (3)$$

$$\Delta T_{NH_3} = 230,72 = 4,46 \cdot 10^{-5} \cdot 2,2 \cdot (40 - T_2)$$

$$(40 - T_2) = 21,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 18,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Выходная температура аммиака T₂ = 18,9°C.

• Фреон R134a (тетрафторэтан): удельная теплоемкость 1,44 кДж/(кг·К), плотность 4,25 кг/м³; скорость потока 1,4 м/с; тепловыделение батареи 230,72 Вт; температура жидкого тетрафторэтана T₁ = 40°C; температура горячей жидкости 40°C.

Объемный расход

$$Q_{R134a} = 1,4 \cdot (n \cdot d^2 / 4) = 1,4 \cdot \pi \cdot ((3,5 \cdot 10^{-3})^2 / 4) = 1,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с} \quad (4)$$

Массовый расход

$$\Delta Q_{R134a} = Q_{R134a} \cdot \rho_{R134a} = (1,34 \cdot 10^{-6}) \cdot 4,25 = 5,72 \cdot 10^{-5} \text{ кг} / \text{с} \quad (5)$$

Температура на выходе различных охлаждающих жидкостей OUTLET TEMPERATURE OF VARIOUS COOLANTS					
Охлаждающий агент	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К) Specific heat capacity, kJ/(kg·K)	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Скорость потока, м/с Flow velocity, m/s	Температура, °C Temperature, °C	
				На входе Inlet	На выходе Outlet
Воздух / Air	1005	1,165	13,8	40	28,11
Вода / Water	4178	998,2	0,2	40	33,93
Аммиак / Ammonia	2,2	0,73	0,15	40	18,9
Этиленгликоль Ethylene glycol	2,47	1110,8	1,2	40	15,8
Фреон R134a (тетрафторэтан) Freon R134a (tetrafluoroethane)	1,44	4,25	1,4	40	21,7

Из уравнения теплового баланса:

$$\Delta T_{R134a} = \Delta Q_{R134a} \cdot C_p \cdot dT;$$

$$\Delta T_{R134a} = 230,72 = 5,72 \cdot 10^{-5} \cdot 1,4 \cdot (40 - T_2). \quad (6)$$

$$(40 - T_2) = 18,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 21,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Выходная температура фреона R134a = 21,7°C.

• Этиленгликоль (ЭГ): удельная теплоемкость 2,47 кДж/(кг·К), плотность 1110,8 кг/м³, скорость 1,2 м/с, тепловыделение батареи 230,72 Вт, температура жидкого этиленгликоля T₁ = 40°C, температура горячей жидкости 40°C, скорость 1,2 м/с.

Объемный расход

$$Q_{ЭГ} = 1,2 \cdot (n \cdot d^2 / 4) = 1,2 \cdot \pi \cdot ((3,5 \cdot 10^{-3})^2 / 4) =$$

$$= 5,30 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с} \quad (7)$$

Массовый расход

$$\Delta Q_{ЭГ} = Q_{ЭГ} \cdot \rho_{ЭГ} = (5,30 \cdot 10^{-5}) \cdot 1110,8 =$$

$$= 0,059 \cdot 10^2 \text{ кДж/с} \quad (8)$$

Из уравнения теплового баланса:

$$\Delta T_{ЭГ} = \Delta Q_{ЭГ} \cdot C_p \cdot dT; \quad (9)$$

$$\Delta T_{ЭГ} = 230,72 = 0,059 \cdot 10^2 \cdot 2,48 \cdot (40 - T_2)$$

$$(40 - T_2) = 24,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Выходная температура этиленгликоля 15,8°C. Выходная температура воды, а также воздуха в качестве эталона приведены по [10, 11, 15]. Значения выходной температуры исследуемых охлаждающих жидкостей представлены в *таблице*.

Вода имеет более высокую температуру на выходе, чем другие хладагенты. Но использовать воду в качестве охлаждающей жидкости нецелесообразно, поскольку она более склонна вступать в реакцию с металлическими поверхностями, в частности медными трубками, и могут возникнуть серьезные проблемы. Как было отмечено ранее, воздух применяется в

системах охлаждения батареи, однако при высокой температуре окружающей среды это малоэффективно.

Использование аммиака в качестве хладагента тоже может вызвать проблемы из-за несовместимости с медью, его нельзя использовать в медных трубках, к тому же это токсичное вещество. Недостатком также является невозможность обнаружить утечки аммиака.

Температура фреона R134a на выходе более оптимальная, чем этиленгликоля, однако при нагревании фреона, как это требуется при работе электромобиля, образуется удушающий газ [16].

Таким образом, этиленгликоль действует как лучший среди рассматриваемых охлаждающих жидких агентов за счет самой низкой температуры на выходе и ряда других преимуществ. Наиболее важно то, что в составе этиленгликоля содержится антикоррозионное вещество, предотвращающее реакцию с металлической поверхностью. Этиленгликоль имеет низкую летучесть и высокую температуру кипения, его можно использовать зимой, так как он является охлаждающей жидкостью-антифризом, а также снижает возможность перегрева аккумулятора зимой.

Выводы. Обосновано применение электромобильных средств, в том числе электротракторов, для технологических и транспортных операций с точек зрения более низких затрат относительно затрат на топливо и ГСМ, обслуживания, экологических преимуществ.

Для терморегулирования тяговой аккумуляторной батареи электромобилей и электротракторов охлаждающая жидкость должна быть актуальной и доступной для применения в условиях агропроизводительной деятельности, а также максимально эффективно отводить тепло.

Сравнение и выбор наиболее приемлемого типа охлаждающих жидкостей, включая аммиак, этиленгликоль и фреон R134a, водяное и воздушное охлаждение, проведены по параметру температуры на выходе из терморегулирующей системы. Выходная температура этиленгликоля составляет 15,8°C, это ниже, чем аммиака на 3,4°C и фреона R134a (тетрафторэтана) на 6,2°C.

Этиленгликоль признается наиболее подходящим жидким хладагентом для использования, он рассеивает максимальное количество тепла. Этиленгликоль можно использовать как зимой, поскольку он обладает антифризными свойствами, так и в жарких условиях, чтобы избежать перегрева.

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (Соглашение 075-15-2023-220).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ртищева Н.Е., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С. Электрический трактор: особенности конструкции и перспективы развития. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022. N8(28). 15. DOI: 10.23649/jae.2022.28.8.015. EDN: WLGRU.
2. Inoyatkhodjaev Ja., Umerov F., Asanov S. Method for sizing an electric drive for small class electric vehicles. *Universum: технические науки*. 2023. N4-7(109). 33-39. DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15230. EDN: XDNGRA.
3. Bolshakov N.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Modernization of the cooling system in tractors with gas engines. *E3S Web*. 2020. 04048. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404048. EDN: YGUHBB.
4. Poddubko S.N., Ishin N.N., Goman A.M., et al. Methods for calculating the load of electric vehicle gearboxes using their dynamic models. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2022. N2(59). 16-23. DOI: 10.46864/1995-0470-2022-2-59-16-23. EDN: CCVDIV.
5. Usmanov U., Karimov A. Optimization based control strategies of hybrid electric vehicles. *Universum: технические науки*. 2023. N1-4(106). 50-55. EDN: UUIBKB.
6. Vlasenko N.A., Dusaeva A.I., Nikiforov I.V., Prelovskii D.S. Technique for automating charging of an electric vehicle based on a Raspberry Pi controller using neural networks. *Computing, Telecommunications and Control*. 2022. Vol. 15. N4. 37-50. DOI: 10.18721/JCSTCS.15403. EDN: GRSTAS.
7. Вахрушев М.А., Беляев Д.С., Генсон Е.М. Теоретическое исследование зависимости потребления электроэнергии электромобилем от внешних факторов // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2022. N4(62). С. 31-35. EDN: VQSSYC.
8. Karvinkoppa M.V., Hotta T. K. Role of PCM based minichannels for the cooling of multiple protruding IC chips on the SMPS board. *Journal of Energy Storage*. 2019. Vol. 26. 100917. DOI: 10.1016/j.est.2019.100917.
9. Терентьев Е.Е., Блянкинштейн И.М. Методика выбора типа аккумулятора для эксплуатации электромобилей в регионах с холодным климатом // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2023. N1. С. 112-124. DOI: 10.25198/2077-7175-2023-1-112. EDN: FNKXAN.
10. Шумов Ю.Н., Сафонов А.С. Энергосберегающие электрические машины для привода электромобилей и гибридных автомобилей // *Электричество*. 2016. N1. С. 55-65. EDN: VLKOSZ.
11. Асадов Д.Г. Диагностирование и определение остаточной емкости аккумуляторной батареи электромобиля // *Международный технико-экономический журнал*. 2011. N1. С. 122-127. EDN: NJJZLD.
12. Чугунов М.В., Полунина И.Н., Пьянзин А.М. Проектирование электромобиля-трайка на базе параметрических САД/CAE-моделей // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30. N3. С. 464-479. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202003.464-479. EDN: FJFJTD.
13. Lazarenko O., Loik V., Shtain B. Research on the fire hazards of cells in electric car batteries. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2018. Vol. 52. N4. 108-117. DOI: 10.12845/bitp.52.4.2018.7. EDN: TLIFJT.
14. Maljković M., Stamenković D., Blagojević I., Popović V. The analysis of available data on energy efficiency of electric vehicles to be used for eco-driving project development. *Science and Technique*. 2019. Vol. 18. N6. 504-508. DOI: 10.21122/2227-1031-7448-2019-18-6-504-508. EDN: LPAWPS.
15. Bozhkov S., Mutafchiev M., Milenov I., et al. Method for determination of the hybrid electric vehicle energy efficiency in urban transportation. *Vestnik NovSU*. 2019. N 4(116). 4-8. DOI: 10.34680/2076-8052.2019.4(116). 4-8. EDN: FKSMML.
16. Dorofeev R., Tumasov A., Sizov A., et al. Engineering of light electric commercial vehicle. *Science and Technique*. 2020. Vol. 19. N1. 63-75. DOI: 10.21122/2227-1031-2020-19-1-63-75. EDN: SYNXIP.

REFERENCES

1. Rtishcheva N.E., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Elektricheskiy traktor: osobennosti konstruktssii i perspektivy razvitiya [Electric tractor: design specifics and development prospects]. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022. N8(28). 5 (In Russian). DOI: 10.23649/jae.2022.28.8.015. EDN: WLGRU.
2. Inoyatkhodjaev Ja., Umerov F., Asanov S. Method for sizing an electric drive for small class electric vehicles. *Universum: Tekhnicheskiye nauki*. 2023. N4-7(109). 33-39 (In English). DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15230. EDN: XDNGRA.
3. Bolshakov N.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Modernization of the cooling system in tractors with gas engines. *E3S Web*. 2020. (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202022404048. EDN: YGUHBB.
4. Poddubko S.N., Ishin N.N., Goman A.M., et al. Methods for calculating the load of electric vehicle gearboxes using their dynamic models. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2022. N2(59). 16-23 (In English). DOI: 10.46864/1995-0470-2022-2-59-16-23. EDN: CCVDIV.

- 10.46864/1995-0470-2022-2-59-16-23. EDN: CCVDIV.
5. Usmanov U., Karimov A. Optimization based control strategies of hybrid electric vehicles. *Universum: Tekhnicheskiye nauki*. 2023. N1-4(106). 50-55 (In English). EDN: UUJBKB.
 6. Vlasenko N.A., Dusaeva A.I., Nikiforov I.V., Prelovskii D.S. Technique for automating charging of an electric vehicle based on a Raspberry Pi controller using neural networks. *Computing, Telecommunications and Control*. 2022. Vol. 15. N4. 37-50 (In English). DOI: 10.18721/JCSTCS.15403. EDN: GRSTAS.
 7. Vakhrushev M.A., Belyaev D.S., Genson E.M. Teoreticheskoe issledovanie zavisimosti potrebleniya elektroenergii elektromobilem ot vneshnikh faktorov [Theoretical study of the dependence of electric vehicle electricity consumption on external factors]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2022. N4(62). 31-35 (In Russian). EDN: VQSSYC.
 8. Karvinkoppa M.V., Hotta T.K. Role of PCM based minichannels for the cooling of multiple protruding IC chips on the SMPS board. *Journal of Energy Storage*. Dec. 2019. Vol. 26. 100917 (In English). DOI: 10.1016/j.est.2019.100917.
 9. Terentiev E.E., Blyankinshtein I.M. Metodika vybora tipa akkumulyatora dlya ekspluatsii elektromobiley v regionakh s kholodnym klimatom [Methodology for selecting the type of battery for operation of electric vehicles in cold regions]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2023. N1. 112-124 (In Russian). DOI: 10.25198/2077-7175-2023-1-112. EDN: FNKXAN.
 10. Shumov Yu.N., Safonov A.S. Energosberegayushchie elektricheskiye mashiny dlya privoda elektromobiley i gibridnykh avtomobiley [Energy-saving electrical machines for driving electric and hybrid vehicles]. *Elektrichestvo*. 2016. N1. 55-65 (In Russian). EDN: VLKOSZ.
 11. Asadov D.G. Diagnostirovanie i opredelenie ostatochnoy emkosti akkumulyatornoy batarei elektromobilya [Diagnosis and determination of the residual capacity of an electric vehicle battery]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*. 2011. N1. 122-127 (In Russian). EDN: NJIZLD.
 12. Chugunov M.V., Polunina I.N., Pjanzin A.M. Proektirovanie elektromobilya-trayka na baze parametricheskikh CAD/CAE-modeley [E-Tricycle vehicle design based on parametric CAD/CAE models]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2020. Vol. 30. N3. 464-479 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202003.464-479. EDN: FJFJTD.
 13. Lazarenko O., Loik V., Shtain B. Research on the fire hazards of cells in electric car batteries. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza*. 2018. Vol. 52. N4. 108-117 (In English). DOI: 10.12845/bitp.52.4.2018.7. EDN: TLIFJT.
 14. Maljković M., Stamenković D., Blagojević I., Popović V. The analysis of available data on energy efficiency of electric vehicles to be used for eco-driving project development. *Science and Technique*. 2019. Vol. 18. N6. 504-508 (In English). DOI: 10.21122/2227-1031-7448-2019-18-6-504-508. EDN: LPAWPS.
 15. Bozhkov S., Mutafchiev M., Milenov I., et al. Method for determination of the hybrid electric vehicle energy efficiency in urban transportation. *Vestnik NovSU*. 2019. N 4(116). 4-8 (In English). DOI: 10.34680/2076-8052.2019.4(116). 4-8. EDN: FKSMMM.
 16. Dorofeev R., Tumasov A., Sizov A., et al. Engineering of light electric commercial vehicle. *Science and Technique*. 2020. Vol. 19. N1. 63-75 (In English). DOI: 10.21122/2227-1031-2020-19-1-63-75. EDN: SYNXIP.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

All authors contributed equally to this publication.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

03.10.2023
20.11.2023

Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны

Бадри Хутаевич Ахалая,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: badri53@yandex.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник, доцент,
e-mail: vimasp@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что обработка почвы многофункциональным комбинированным агрегатом с импульсным воздействием ударной волны является актуальным и перспективным направлением в общей системе почвообработки. (*Цель исследования*) Разработка многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, повышающего производительность, улучшающего качество обработки почвы и экологию окружающей среды. (*Материалы и методы*) Агрегат состоит из основной рамы, двух боковых, складывающихся секций и центральной, которая выполнена со сницей, опорными и транспортными колесами, а также рамы в виде полого вала, соединенного с баллоном сжатого воздуха. Передние рамы каждой секции снабжены жестко закрепленными рабочими органами в виде культиваторных лап со встроенными внутри пневмотрубками с выходными отверстиями на концах крыльев лап с радиусом действия сжатого воздуха 5-10 сантиметров. (*Результаты и обсуждение*) Установили соотношение глубины поверхностной обработки почвы культиваторной лапой к глубине внутрипочвенной обработки импульсными ударами сжатого воздуха, равное 1:2. Состав почвообрабатывающих устройств замыкают дисковые фрезы диаметром 25-30 сантиметров и бороны на глубину обработки 5-7 сантиметров. (*Выводы*) Усовершенствованная таким образом конструкция многофункционального комбинированного агрегата позволяет проводить одновременно несколько операций: культивацию с уничтожением сорной растительности, рыхление почвы воздушным потоком высокого давления, фрезерование и измельчение поверхности.

Ключевые слова: обработка почвы, импульсное воздействие, ударная волна, комбинированный агрегат, лапа культиватора, фреза, зубовая борона.

■ **Для цитирования:** Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Том. 17. №4. 62-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67. EDN: RBWZHM.

Combined Unit for Tillage with Pulsed Shock Wave Action

Badry Kh. Akhalaya,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: badri53@yandex.ru;

Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, associate professor,
e-mail: vimasp@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows that incorporating a multifunctional combined unit with pulsed shock wave action into soil tillage presents a pertinent and promising advancement in the soil cultivation system. (*Research purpose*) The research aims to develop a multifunctional combined unit for soil tillage integrating pulsed shock wave action. The objectives include enhancing productivity, refining tillage quality and promoting ecological considerations. (*Materials and methods*) The unit consists of a main frame, two side-folding sections, and a central section, which is made featuring a carriage, support and transport wheels. Additionally, it incorporates a frame in the shape of a hollow shaft, connected to a compressed air cylinder. The front frames of each section are equipped with rigidly fixed working bodies taking the form of cultivator paws with embedded pneumatic tubes. These tubes have outlet holes positioned at the ends of the wings of the paws, with a compressed air effective radius of 5-10 centimeters. (*Results and discussion*) The established ratio between the depth of surface tillage using a cultivator paw and the depth of subsoil tillage through pulsed blows of compressed air is 1:2. The tillage devices are supplemented by disc cutters with a diameter ranging from 25 to 30 centimeters, along with harrows designed for processing to a depth of 5-7 centimeters. (*Conclusions*) Enhanced

by this modification, the design of the multifunctional combined unit enables the simultaneous execution of multiple operations, including cultivation with weed destruction, soil loosening using high-pressure air flow, and surface milling and grinding.

Keywords: tillage, pulse impact, shock wave, combined unit, cultivator paw, milling cutter, tooth harrow.

For citation: Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Kombinirovannyu agregat dlya obrabotki pochvy impul'snym vozdeystviem udarnoy volny [Combined unit for tillage with pulsed shock wave action] *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 62-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67. EDN: RBWZHM.

Наибольший технико-экономический эффект сокращения процессов обработки почвы может быть достигнут за счет снижения объема обрабатываемого почвенного пласта [1]. Всякое рыхление почвы сводится в основном к обработке пласта на заданные глубину и ширину, исходя из этого обработка может быть сплошной или полосной [2].

Однако в зависимости от типа рабочих органов форма и площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта могут быть различными [3] (рис. 1). Форма сечения пласта характеризуется профилем обрабатываемого слоя: ровным (лемешные плуги, плоскорезные орудия, культиваторы); гребнистым (чизельные орудия, зубовые бороны); волнообразным (дисковые орудия, игольчатые бороны, фрезы); ступенчатым (плуги с почвоуглубителями и равноглубинными корпусами, культиваторы со стрелчатыми и рыхлящими лапами – плоскорезы-щелеватели; щелевым – щелерезы-кратователи [4].

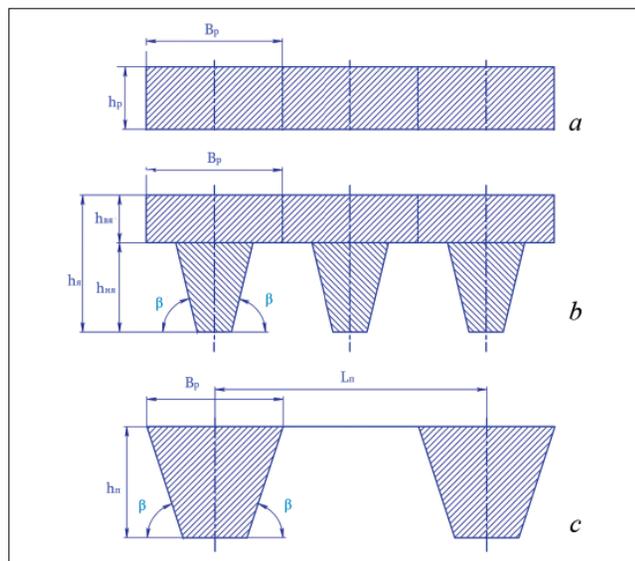


Рис. 1. Профили обрабатываемого слоя почвы: а – сплошной; б – ступенчатый; с – полосной (щелевой)

Fig. 1. Profiles of the treated soil layer: a – continuous; b – stepped; c – strip (slotted)

Указанные способы обработки почвы с разнопрофильной формой дна обрабатываемого слоя, за исключением специальных и противэрозионных приемов, недостаточно обоснованы с агрономической точки зрения. Между тем энергоёмкость процессов

рыхления почвы в значительной степени зависит от глубины и площади обрабатываемого сечения пласта и особенно от формы его нижнего периметра, расположенного в более плотном горизонте [5].

Известно, что ровный профиль дна борозды, образуемый плугами и другими орудиями основной обработки почвы, зачастую способствует сплошному уплотнению подошвы, что отрицательно сказывается на развитии растений [6].

Исходя из требований почвозащитного земледелия, можно определить следующие основные приемы основной обработки почвы:

- снижение глубины обрабатываемого слоя;
- замена сплошной глубокой обработки ярусной или ступенчатой;
- использование полосной и щелевой обработки [7].

Целесообразность применения указанных приемов обработки почвы должна определяться их агротехнической и почвозащитной эффективностью, которая может быть установлена только опытным путем. Однако, прежде всего необходимо оценить возможность реализации этих приемов и ожидаемый технико-экономический эффект [8].

Цель исследования – разработка многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, повышающего производительность, улучшающего качество обработки почвы и экологию окружающей среды.

Материалы и методы. Для определения степени воздействия рабочих органов почвообрабатывающих орудий и машин на изменение профиля, генетическую и антропологическую многогранность обрабатываемого слоя почвы, необходимо изучить ее с главной целью: во-первых, как минимум не нанести вреда почве и окружающей среде, во-вторых, получить максимально возможный положительный результат экономического и экологического характера [9].

Под технологическими способами механического воздействия на обрабатываемый слой почвы понимают воздействие на грунт рабочих частей механизмов и агрегатов, которыми проводится обработка. При этом изменяется плотность почвы и происходит взаимное перемещение ее слоев [10].

В последнее время ряд стран довели до минимума производство плугов [11]. Однако некоторые страны отказались от них вовсе [12]. Взамен глубокой

вспашки применяют поверхностную с минимальной глубиной обработку почвы в пределах 5-7 см [13].

Методы нетрадиционной обработки почвы отличаются по способу воздействия на почву и делятся на виды безотвальной обработки: с помощью импульсов сжатого воздуха, электрического разряда и ультразвука [14].

Перед разработкой конструкции комбинированного агрегата прецизионной обработки при воздействии сжатого воздуха на почву провели патентный анализ почвообрабатывающих машин и устройств с различными принципами действия (RU 2335107, МПК, 2008; SU 1664128, МПК; RU 2335107, МПК, 2008; РФ 2491807, МПК, 2012; RU 136275, МПК, 2013; RU 136674, МПК, 2014).

подавляющее большинство работ посвящены традиционным способам обработки почвы. Эти устройства относятся к технологиям с разной степенью механического воздействия на почву.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Разработанный многофункциональный комбинированный агрегат предназначен для полосной обработки почвы импульсами сжатого воздуха на ширину захвата культиваторной лапы в пределах 20-40 см [15, RU 2736059, МПК, 2020; RU 2745458, МПК, 2021].

Ширина воздействия на почву импульсами сжатого воздуха агрегата

$$H = 4r \cdot n_1 + b \cdot (n_2 - 1), \text{ см,}$$

где r – радиус действия сжатого воздуха в почве, см;

n_1 – число культиваторных лап, шт.;

b – ширина необработанной полосы междурядья, см;

n_2 – число необработанных полос, шт.

На рисунке 2 представлена схема трехсекционного почвообрабатывающего агрегата.

Секции 1 и 3 складывающиеся, а базовая секция 2 выполнена со сницей 4, опорными 5 и транспортными 6 колесами и баллоном сжатого воздуха 7. Передняя рама каждой секции выполнена в виде полого вала 8, связанного с баллоном сжатого воздуха, системы пуска 9 сжатого воздуха, полых ступиц 10.

Передние рамы каждой секции снабжены жестко закрепленными на стойке 11 культиваторными лапами 12 с пневмотрубками (на рисунке не показаны), закрепленными на концах крыльев лапы изнутри с выпускными клапанами 13, которые установлены под острым углом к горизонтальной поверхности и направлены против движения агрегата с радиусом действия сжатого воздуха 5-10 см.

Соотношение глубины поверхностной обработки почвы культиваторной лапы к глубине внутрипочвенной обработки импульсными ударами сжатого воздуха равно 1:2. За культиваторными лапами установлены дисковые фрезы 14 и бороны 15 с глубиной обработки 5-7 см и с необходимой шириной захвата, а также возможностью замены.

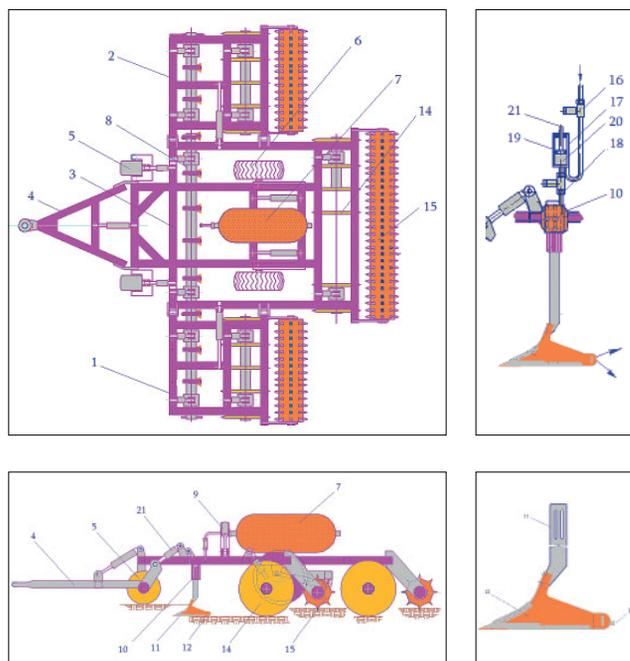


Рис. 2. Многофункциональный комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны: 1, 3 – складывающиеся секции; 2 – базовая секция; 4 – сница; 5 – опорные колеса; 6 – транспортные колеса; 7 – баллон сжатого воздуха; 8 – полый вал; 9 – система пуска сжатого воздуха; 10 – полые ступицы; 11 – стойка; 12 – культиваторные лапы; 13 – пневмотрубка с выпускным клапаном; 14 – дисковые фрезы; 15 – бороны; 16, 18 – пневмоэлектродвигатели; 17 – микрорессиверы; 19 – поршень; 20 – цилиндр; 21 – винтовой механизм

Fig. 2. Multifunctional combined soil cultivation unit with pulsed shock wave action: 1, 3 – folding sections; 2 – base section; 4 – snitch; 5 – support wheels; 6 – transport wheels; 7 – compressed air cylinder; 8 – hollow shaft; 9 – compressed air starting system; 10 – hollow hubs; 11 – stand; 12 – cultivator paws; 13 – pneumatic tube with exhaust valve; 14 – disk cutters; 15 – harrows; 16, 18 – pneumatic electrovalves; 17 – microreceivers; 19 – piston; 20 – cylinder; 21 – screw mechanism

Передние рамы каждой секции с полым валом подсоединены к баллону сжатого воздуха через пневмоэлектродвигатель 16, микрорессиверы 17 и пневмоэлектродвигатель 18.

Каждый микрорессивер имеет устройство для изменения объема, например поршень 19, перемещаемый внутри цилиндра 20 с помощью винтового механизма 21. В зависимости от физико-механических свойств почвы предварительно устанавливается требуемый объем сжатого воздуха в микрорессивере с помощью винтового механизма.

Перед очередным импульсным воздействием на почву через общую заправочную магистраль по команде системы управления полый вал из баллона высокого давления заполняется сжатым воздухом высокого давления. За счет кратковременного открытия пневмоэлектродвигателей происходит впрыск сжатого

воздуха в почву на установочную глубину. Постоянное рабочее давление в баллонах поддерживается компрессором (на схеме не показан).

Культиваторные лапы со стойкой установлены на полом вала при помощи ступицы с возможностью подвода сжатого воздуха через пневмотрубки к выпускным клапанам, размещенными на концах крыльев лапы на внутренней поверхности (рис. 3).

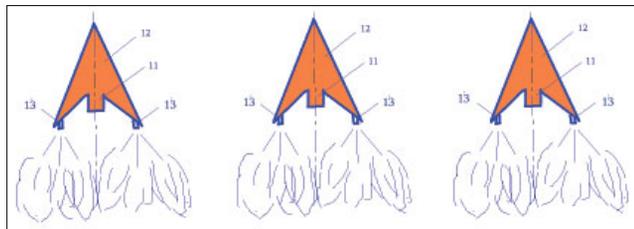


Рис. 3. Лапы культиватора в рабочем режиме

Fig. 3. Cultivator paws in operation mode

Многофункциональный комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны работает следующим образом.

Агрегат перед полосной обработкой почвы сжатым воздухом с помощью гидроцилиндров (на схеме не показаны), полые валы секций вместе с жестко закрепленными на них ступицами, полыми стойками с культиваторными лапами переводят на требуемую глубину обработки почвы.

Сжатый воздух к выпускным клапанам поступает из баллона высокого давления, проходя общую заправочную магистраль, ступицу и пневмотрубки к выпускным клапанам. Компрессор поддерживает постоянное давление сжатого воздуха в баллоне. При открытии пневмоэлектрклапанов происходит заполнение всех микрорессиверов трех секций (трубопроводы на рисунках не показаны) сжатым воздухом высокого давления.

После заполнения пневмоэлектрклапаны закрываются и их отсекают от общей заправочной магистрали. Таким образом, все микрорессиверы оказы-

ваются подготовленными для подачи через полый вал малообъемного импульса сжатого воздуха к выпускным клапанам. По команде системы управления срабатывают пневмоэлектрклапаны и обеспечивают подачу сжатого воздуха большого давления из микрорессиверов в полый вал. Далее поток сжатого воздуха направляется к клапанам по пневмотрубкам, закрепленным на крыльях лапы хомутами, с выходом против направления движения агрегата.

При погружении культиваторной лапы в почву на установочную глубину обработки клапаны открываются и сжатый воздух под высоким давлением микрорезывными импульсами с радиусом действия 5-10 см воздействует на почву, что приводит к ее рыхлению.

Дисковые фрезы и бороны, расположенные за транспортными колесами, измельчают почву на глубину обработки 5-7 см с уплотнением.

Разрабатываемая конструкция комбинированного устройства дает возможность проводить одновременно несколько операций: культивацию с уничтожением сорной растительности, рыхление почвы при помощи воздушного потока высокого давления, фрезерование и измельчение почвы зубовой бороной.

Выводы

1. Наличие культиваторной лапы облегчает работу пусковой системы сжатого воздуха и позволяет беспрепятственно и эффективно обрабатывать почву.
2. Разработка почвообрабатывающего агрегата с секциями по сторонам дает возможность регулировать рабочую ширину и делает его удобным для перемещения с одной площади обработки на другую.
3. Одновременная поверхностная и внутрпочвенная обработка позволит значительно повысить производительность агрегата, сократить расходы эксплуатационного времени и повысить экономическую эффективность.
4. За счет совмещения нескольких рабочих процессов сокращается количество прохода агрегата, снижая уплотнение почвы, что способствует сокращению расходов горючего и улучшению экологии окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 37-42. DOI:10.22314/207375992017.2.3741. EDN:YODARL.
2. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000. N8. С. 30-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN: UUULOB.
3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К. и др. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 4-11. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11.
4. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитическое обоснование системы автоматического контроля глубины обработки почвы // *Агроинженерия*. 2021. N3(103). С. 19-23. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23. EDN: FWCRIM.
5. Федоренко В.Ф., Киреев И.М., Марченко В.О. Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2019. N5 (263). С. 12-17. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-5-12-17. EDN: QXUZCE.
6. Лискин И.В., Миронова А.В. Обоснование искусствен-

- ной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. N3. С. 53-58. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58. EDN: PMAMCF.
7. Маслов Г.Г., Юдина Е.М., Таран А.Д. Нулевая обработка почвы: за и против // *Сельский механизатор*. 2022. N1. С. 10-11. EDN: VJFPOF.
 8. Киреев И.М., Коваль З.М., Марченко В.О., Зимин Ф.А. Рациональный технологический процесс обработки почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2020. N6(276). С. 8-13. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-6-8-13. EDN: HJJJGV.
 9. Цепляев А.Н., Косильников Р.А., Цепляев В.А. и др. Снижение тягового сопротивления сельскохозяйственных машин за счет минимализации его колебаний при обработке тяжелосуглинистых почв // *Агроинженерия*. 2019. N2(90). С. 14-19. EDN: UTZXZN.
 10. Панов А.И., Алдошин Н.В., Пляка В.И., Мехедов М.А. Агротехническая и энергетическая оценка машин для нарезки гряд и гребней // *Агроинженерия*. 2020. N5. С. 4-9. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9. EDN: VPBGYQ.
 11. Gattinger A., Jawtusich J., Muller A., Mäder P. No-till agriculture – a climate smart solution. Published by: Bischöfliches Hilfswerk Misereore. Aachen, Germany. 2011. 24.
 12. Brennen C.E. Cavitation and bubble dynamics. New York: Cambridge University press, 2014. 249. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338760>.
 13. Yasui K. Acoustic cavitation and bubble dynamics. *Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*. 2018. 118. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68237-2>.
 14. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И. и др. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского ГАУ*. 2019. Т. 14. N3(54) С. 92-95. DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949. EDN: MZOGIZ.
 15. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Агрегат для обработки почвы пульсирующим сжатым воздухом // *Вестник Казанского ГАУ*. 2018. Т. 13. N3(50). С. 69-72. DOI: 10.12737/article-5bcf556a9e00e3.71318160. EDN: VMGDYR.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Mazi-tov N.K. Pochvoobrabatyvayushchaya tekhnika: puti importozameshcheniya [Soil-cultivating machinery: ways of import substitution]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI:10.22314/207375992017.2.3741. EDN:YODARL.
2. Lobachevskiy Ya.P. Novye pochvoobrabatyvayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva [New tillage technologies and technical means]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. N8. 30-32 (In Russian). DOI: 10.223-14/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN: UUULOB.
3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., et al. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi processami v rastenievodstve [Optimization of technological process management in plant growing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. 4-11 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11.
4. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Analiticheskoe obosnovanie sistemy avtomaticheskogo kontrolya glubiny obrabotki pochvy [Analytical feasibility study of the for automatic control system of tillage depth]. *Agroinzheneriya*. 2021. N3(103). 19-23 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23. EDN: FWCRIM.
5. Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Issledovanie metodov i tekhnicheskikh sredstv dlya izmereniya glubiny obrabotki pochvy pri ispytaniyakh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Research of methods and technical means for measuring the tillage depth when testing tillage machines]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N5(263). 12-17 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-5-12-17. EDN: QXUZCE.
6. Liskin I.V., Mironova A.V. Obosnovanie iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornykh issledovaniy iznosa i tyagovykh kharakteristik pochvorezhushchikh rabochikh organov [Artificial soil environment justification for laboratory studies of wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. N3. 53-58 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58. EDN: PMAMCF.
7. Maslov G.G., Yudina E.M., Taran A.D. Nulevaya obrabotka pochvy: za i protiv [Zero tillage: pros and cons]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2022. N1. 10-11 (In Russian). EDN: VJFPOF.
8. Kireev I.M., Koval' Z.M., Marchenko V.O., Zimin F.A. Ratsional'nyy tekhnologicheskiiy process obrabotki pochvy rabochimi organami pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Reasonable tillage process using tillage machine working bodies]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N6 (276). 8-13 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-6-8-13. EDN: HJJJGV.
9. Tseplyaev A.N., Kosulnikov R.A., Tseplyaev V.A., et al. Snizhenie tyagovogo soprotivleniya sel'skokhozyaystvennykh mashin za schet minimalizatsii ego kolebaniy pri obrabotke tyazhelosuglinistykh pochv [Reducing traction resistance of agricultural machines by minimizing its fluctuations when tilling heavy-loamy soils]. *Agroinzheneriya*. 2019. N2(90). 14-19 (In Russian). EDN: UTZXZN.
10. Panov A.I., Aldoshin N.V., Plyaka V.I., Mekhedov M.A. Agrotekhnicheskaya i energeticheskaya otsenka mashin dlya narezki gryad i grebney [Agrotechnical and energy assessment of ridgers and seedbed formers]. *Agroinzheneriya*. 2020. N5. 4-9 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9. EDN: VPBGYQ.
11. Gattinger A., Jawtusich J., Muller A., Mäder P. No-till agriculture – a climate smart solution. Published by: Bischöfliches

- es Hilfswerk Misereore. Aachen, Germany. 2011. 24 (In English).
12. Brennen C.E. Cavitation and bubble dynamics. New York: Cambridge University press, 2014. 249 (In English). DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338760>.
13. Yasui K. Acoustic cavitation and bubble dynamics. *Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*. 2018. 118 (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68237-2>.
14. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., et al. Trekhsekcionnyy pochvoobrabatyvayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section soil processing unit with universal replaceable working units]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2019. Vol. 14. N3 (54). 92-95 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949. EDN: MZOGIZ.
15. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Agregat dlya obrabotki pochvy pulsiruyushchim szhatym vozdukhom [Unit for soil processing by pulsing compressed air]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2018. T. 13. N3(50). 69-72 (In Russian). DOI: 10.12737/article-5bcf556a9e00e3.71318160. EDN: VMGDYR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ахалая Б.Х. – разработка конструктивных схем и устройства многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, постановка цели исследования, определение методики проведения исследования;

Ценч Ю.С. – сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Akhalaya B.Kh. – developing design diagrams and designing a multifunctional combined unit for soil cultivation under the pulsed action of a shock wave, establishing the research purpose, and defining the research methodology;

Tsench Yu.S. – collecting and analyzing theoretical and practical materials related to the research topic, formulating overall conclusions, providing critical analysis and refinements to the proposed solution

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

04.10.2023
21.11.2023

Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива

Сергей Николаевич Девянин,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: devta@rambler.ru;

Антон Владиславович Бижаев,
канд. техн. наук, доцент,
e-mail: a.bizhaev@mail.ru;

Ярослав Дмитриевич Павлов,
ассистент,
e-mail: ya.pavlov@rgau-msha.ru;

Софья Михайловна Ветрова,
ассистент, аспирант,

e-mail: s.vetrova@rgau-msha.ru;

Алина Сергеевна Барчукова,
ассистент, аспирант,
e-mail: barchukova@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что оснащение сельскохозяйственных мобильных машин датчиками и электронным управлением позволяет удаленно получать в режиме реального времени информацию о техническом состоянии систем двигателя в процессе эксплуатации машины. (*Цель исследования*) Разработать методику определения многопараметровой характеристики удельного эффективного расхода топлива на примере двигателя *Deutz BF 6M 2012 C* трактора *Terrion ATM 4200*. (*Материалы и методы*) Проведен анализ данных системы электронного управления. С применением подключенного логического анализатора *Logic Analyzer 8* получена многопараметровая характеристика двигателя по удельному расходу топлива с CAN-шины в процессе эксплуатации машины. Разработана методика статистической обработки данных с помощью программы *Statistica 10*. Составлены уравнения регрессии зависимости расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя. Значения коэффициента детерминации и критерия Фишера подтвердили статистическую значимость связи расхода топлива во всей области рабочих режимов с выбранными параметрами. (*Результаты и обсуждение*) Данные многопараметровой характеристики, отражающей зависимость расхода топлива от частоты и момента вращения двигателя, совпадают с данными завода-производителя, что дополнительно подтверждает истинность полученных регрессионных уравнений. (*Выводы*) Предлагаемая последовательность действий для получения многопараметровой характеристики может быть реализована в отношении иных показателей работы двигателя. Контроль за показателями эксплуатации с целью анализа информация о техническом состоянии узлов и агрегатов машины необходима для диагностики и своевременного технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: интеллектуальная система, контроль технического состояния, мониторинг системы двигателя, эксплуатационные показатели, техническая диагностика.

■ **Для цитирования:** Девянин С.Н., Бижаев А.В., Павлов Я.Д., Ветрова С.М., Барчукова А.С. Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 68-74. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74. EDN: VSCVNM.

Parametric Characterization of a Tractor Engine by Specific Fuel Consumption

Sergey N. Devyanin,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: devta@rambler.ru;

Anton V. Bizhaev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: a.bizhaev@mail.ru;

Yaroslav D. Pavlov,
assistant,
e-mail: ya.pavlov@rgau-msha.ru;

Sofya M. Vetrova,
assistant, graduate student,
e-mail: s.vetrova@rgau-msha.ru;

Alina S. Barchukova,
assistant, graduate student,
e-mail: barchukova@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that equipping agricultural mobile machines with sensors and electronic controls enables the remote acquisition of real-time information regarding the technical condition of engine systems while operation. (*Research purpose*) The objective of this research is to formulate a methodology for determining the multi-parameter characteristics of specific effective fuel consumption. This is illustrated through an examination of the *Deutz BF 6M 2012 C* engine, installed in the of the *Terrion ATM 4200* tractor. (*Materials and methods*) The electronic control system was examined through data analysis. Utilizing *Logic Analyzer 8*, a connected logic analyzer, facilitated the extraction of a multi-parameter characteristic related to the specific fuel consumption of the engine. This data was obtained from the *CAN* bus while the machine was in operation. A statistical data processing method was developed using the *Statistica 10* program. Regression equations were formulated to illustrate the correlation between fuel consumption, crankshaft speed and engine torque. The statistical significance of the relationship between fuel consumption across the entire range of operating modes and the selected parameters was corroborated by the values of the coefficient of determination and Fisher's criterion. (*Results and discussion*) The data from the multi-parameter characteristic, illustrating the correlation between fuel consumption, engine speed, and torque, aligns with the information provided by the manufacturing plant. This alignment further validates the accuracy of the derived regression equations. (*Conclusions*) The suggested sequence of steps for obtain a multi-parameter characteristic can be applied to other engine performance indicators. Monitoring operational performance to analyze information on the technical condition of machine components and assemblies is necessary for diagnostics and ensuring timely maintenance and repair.

Keywords: intelligent system, technical condition monitoring, engine system monitoring, performance indicators, technical diagnostics.

■ **For citation:** Devyanin S.N., Bizhaev A.V., Pavlov Ya.D., Vetrova S.M., Barchukova A.S. Parametricheskaya kharakteristika dvigatelya traktora po udel'nomu raskhodu topliva [Parametric characterization of a tractor engine by specific fuel consumption]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 68-74 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74. EDN: VSCVNM.

Предсказуемость в работе двигателя влияет на производительность сельскохозяйственной техники, возможность выполнения операционных функций, предотвращения неисправностей. Постоянный мониторинг технического состояния двигателя способствует сокращению простоев и потерь урожая, оптимальному использованию ресурсов.

Современные двигатели оснащены электронными системами с датчиками контроля различных параметров. Это создает возможность управлять работой агрегатов по заложенным алгоритмам, используя данные, которые передаются по *CAN*-шине [1]. По этой информации можно не только непрерывно оценивать техническое состояние систем трактора по заложенным в диагностическую систему кодам неисправностей, но также создавать другие алгоритмы, расширяя количество контролируемых узлов и своевременно обнаруживая неисправности [2].

Оснащение стандартными диагностическими разъемами позволяет развивать различные диагностические методики, в том числе дистанционные [3]. Скорость и уровень диагностики определяются алгоритмами сбора и обработки считанных данных [4]. В связи с этим возникает необходимость цифровизации и автоматизации процесса сбора и анализа данных с целью удаленного контроля состояния сельскохозяйственной техники в процессе эксплуатации. Уровень развития современных электронных систем позволяет решить такие вопросы [5].

Алгоритмы, предполагающие сложные вычисли-

тельные процессы, не во всех случаях могут выполняться на процессорах с ограниченным объемом памяти бортовых компьютеров. Обмен данными с более производительным удаленным компьютером не всегда возможен, поэтому предпочтительно разрабатывать алгоритмы, реализуемые также на процессорах с небольшими ресурсами [6].

Цель исследования. Разработка методики получения многопараметрической характеристики удельного эффективного расхода топлива тракторного двигателя по данным системы электронного управления.

Материалы и методы. В настоящее время по стандартным протоколам можно получать информацию с машин удаленно и при помощи установки приемно-передающего устройства в стандартный разъем *OBD-2* передавать информацию на периферийные устройства. Однако отсутствует характеристика для комплексной оценки технических параметров двигателя индивидуальной машины или парка машин в удаленном режиме [7]. С помощью такой характеристики можно прогнозировать работоспособность машины и необходимость технического обслуживания [8].

Для анализа эффективности работы двигателя обычно проводится стендовое испытание, оцениваются значения ключевых показателей и их характер при различных значениях частоты вращения и нагрузки двигателя [9]. В качестве критерия эффективности обычно используется удельный эффективный расход топлива в процессе эксплуатации машины. В целях получения многопараметровой характеристи-

ки двигателя по этому критерию на основе данных CAN-шины были поставлены задачи:

- оценить информацию с диагностического разъема на примере трактора *Terrion ATM 4200* с двигателем *Deutz BF 6M 2012 C*;
- разработать методику статистической обработки данных для получения регрессионных зависимостей;
- оценить область рабочих режимов и предложить способ ее разделения на зоны, чтобы снизить требования к возможностям вычислительного процессора;
- получить вид уравнения регрессии для всей области рабочих режимов.

Универсальный трактор 4-го тягового класса *Terrion ATM 4200* с двигателем *Deutz BF 6M 2012 C* используется при возделывании культур сплошного высева и пропашных в составе широкозахватных и комбинированных агрегатов. Двигатель рабочим объемом 6,05 л с водяным охлаждением, турбонаддувом и интеркулером, шестицилиндровый, максимальная мощность 200 л.с. (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Открытый доступ. Дата обращения: 11.09.2022). Данные с диагностического разъема получали с применением оборудования с логическим анализатором *Logic Analyzer 8*, обработку данных проводили с помощью программы *Statistica 10*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Методика статистической обработки данных включала:

- получение области рабочих режимов двигателя с разбивкой на зоны для дальнейшей обработки;
- определение вида и получение уравнений регрессии для каждой зоны рабочих режимов двигателя;
- получение общего уравнения регрессии для всей области рабочих режимов на основании уравнений для каждой зоны.

В течение 208 секунд работы трактора с CAN-шины были считаны данные, представленные в виде маркеров на области рабочих режимов двигателя (рис. 1).

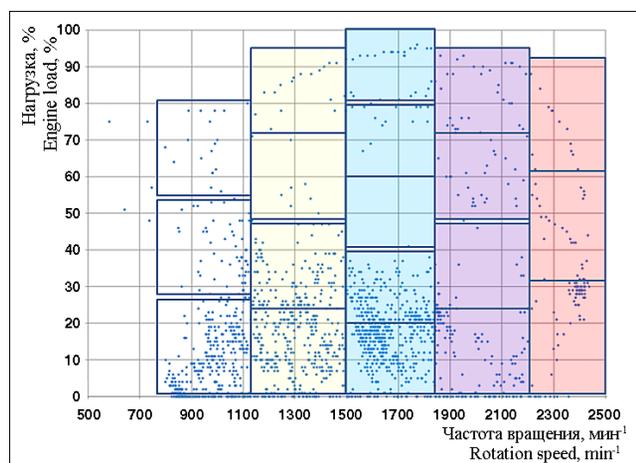


Рис. 1. Область зарегистрированных режимов двигателя с разбивкой на зоны

Fig. 1. Segmentation of registered engine modes

Расшифровка производилась по стандарту CAN с протоколом *J1939-71* [10]. Массив зарегистрированных данных включал 482880 значений (30180 строк и 16 столбцов). Получить уравнения регрессии, анализируя такой массив данных с помощью не только бортового компьютера, но и современных программных средств, достаточно проблематично. Поэтому было предложено анализировать отдельные зоны области рабочих процессов с количеством зарегистрированных режимов (строк) не более 250.

Математическое описание изменения удельного расхода топлива

Область рабочих режимов была разделена по частоте вращения двигателя на пять диапазонов: 750-1100, 1101-1450, 1451-1800, 1801-2150, 2151-2500 мин⁻¹ (соответственно области *a, b, c, d, e*). Каждая область дополнительно разделена по нагрузке, исходя из плотности данных: *a* и *e* – на три части, *b* и *d* – на четыре, *c* – на пять частей и условно обозначена по диапазону частоты вращения (*a, b, c, d, e*) и по нагрузке (1, 2, 3, 4, 5).

Для каждой зоны получены уравнения в соответствии с методикой регрессионного анализа данных и созданы матрицы зависимости часового расхода топлива от частоты вращения и нагрузки двигателя:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_5 \end{pmatrix}; X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{11} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{15} & \dots & x_{15} \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} a_0 \\ \dots \\ a_5 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где Y – вектор-столбец расхода топлива; X – матрица данных для пяти показателей; A – вектор-столбец коэффициентов регрессии.

В результате корреляционного анализа определены основные параметры уравнения: x_1 – частота вращения, мин⁻¹; x_2 – нагрузка (крутящий момент двигателя), %; x_3 – произведение x_1 и x_2 ; x_4 – квадрат частоты вращения; x_5 – квадрат нагрузки. Из этих факторов использовались только частота вращения и крутящий момент, так как двигатель был прогрет (75-80°C) и вязкость моторного масла не оказывала влияние на тепловое состояние.

Уравнение регрессии для определения расхода топлива

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5. \quad (2)$$

В результате множественного регрессионного анализа для каждой зоны, в которой зарегистрированы более семи режимов, получены уравнения регрессии:

$$G_{\text{ТО}} = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot M_{\text{КО}} + A_3 \cdot n \cdot M_{\text{КО}} + A_4 \cdot n^2 + A_5 \cdot M_{\text{КО}}^2, \quad (3)$$

где $G_{\text{ТО}}$ – объемный часовой расход топлива, л/ч;

n – частота вращения двигателя, мин⁻¹;

$M_{\text{КО}}$ – относительное значение крутящего момента, %;

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ – коэффициенты уравнения регрессии для каждой зоны.

Например, для крайней левой нижней зоны a_1 ($n = 750-1100$ мин⁻¹ и $M_{\text{КО}} = 0-27\%$):

Таблица		Table				
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗОН РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ / RESULTS OF WORK AREA ANALYSIS						
Зона / Area	R^2	F	F_T	$x_1, \text{мин}^{-1} / x_1, \text{min}^{-1}$	$x_2, \%$	$Y, \text{л/ч} / Y, \text{l/h}$
a1	0,9862	3462	1,0	925	14	3,95
a2	0,9718	1910	1,0	1275	13	5,18
a3	0,9885	4195	1,0	1625	10	5,79
a4	0,993	3578	1,26	1975	13	8,03
a5	0,9985	9448	1,39	2325	15	10,41
b1	0,9827	431	1,92	925	41	8,33
b2	0,9908	2274	1,28	1275	37	10,54
b3	0,9636	917	1,2	1625	30	11,46
b4	0,9967	546	2,46	1975	37	17,08
b5	0,9985	46334	1,53	2325	45	22,53
c1	0,9912	336	1,96	925	68	12,71
c2	0,951	11,6	9,36	1275	61	16,14
c3				1625	50	
c4	0,9916	402	1,88	1975	61	24,80
c5	0,9984	1697	2,01	2325	75	34,82
d2	0,9943	313	2,46	1275	84	21,10
d3	0,9973	583	2,9	1625	70	22,90
d4	0,996	1337	1,72	1975	84	32,77
e3	0,998	1660	1,88	1625	90	29,05

$$G_{\text{ТО}} = 0,3817 + 0,8311 \cdot 10^{-3} \cdot n + 11,69 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{К}} + 0,1583 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot M_{\text{К}} + 0,6131 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,3274 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{К}}^2, \text{ л/ч.}$$

Для зоны c3 не удалось получить уравнение регрессии, так как в процессе регистрации данных в нее не попал ни один зарегистрированный режим и в дальнейшем анализе она не рассматривалась.

Оценку уравнения проводили с помощью коэффициента детерминации (R^2) и критерия Фишера (F). При условии, что $R^2 > 0,8$ и $F > F_T$ (F_T – табличное значение критерия для принятой доверительной вероятности рпри имеющихся степенях свободы) уравнение использовалось в дальнейшей работе. Для крайней левой нижней зоны (a1) $R^2 = 0,9862$, $F = 3462$ ($F_T = 1,0$).

Результаты регрессионного анализа зон области рабочих режимов двигателя для доверительной вероятности $p = 0,9$ сведены в таблицу.

Выбранный вид уравнений регрессии с доверительной вероятностью 90% достоверно описывает изменение часового расхода топлива $G_{\text{ТО}}$ в зависимости от двух факторов: частоты вращения n и нагрузки $M_{\text{КО}}$.

Общее уравнения регрессии для всей области рабочих режимов определяли следующим образом. Для каждой зоны выбиралась режимная точка по значению ее центра (центр диапазона по частоте вращения x_1 и нагрузке двигателя x_2). Далее определяли расчетные значения часового расхода топлива $G_{\text{ТО}i}$ на каждом из режимов каждой зоны; в таблице они представлены в виде искомой функции Y .

Используя матрицу из 18 значений целевой функции Y и влияющих факторов x_i для всей области рабочих режимов, с применением регрессионного анализа определяются уравнения вида (3).

С помощью программы *Statistica 10* получено итоговое уравнение регрессии для всей области:

$$G_{\text{ТО}} = -0,7219 + 2,6123 \cdot 10^{-3} \cdot n + 4,93 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{КО}} + 0,1743 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot M_{\text{КО}} - 0,2092 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 0,0172 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{КО}}^2, \text{ л/ч.}$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9997$, коэффициент Фишера $F = 7059$. Критическое значение критерия Фишера для доверительной вероятности $p = 0,9$ составляет $F_T = 2,14$, что подтверждает статистическую значимость связи расхода топлива во всей области рабочих режимов от выбранных параметров.

Анализ эффективности работы двигателя обычно выполняется по удельному эффективному расходу топлива g_e , который является результатом деления массового часового расхода топлива (G_T) на производимую эффективную мощность (N_e) для рассматриваемого режима работы:

$$g_e = G_T / N_e, \quad (4)$$

где $G_T = G_{\text{ТО}} \cdot \rho_T$ (ρ_T – плотность топлива).

Для определения эффективной мощности N_e необходимо знать кроме частоты вращения абсолютное значение крутящего момента $M_{\text{К}}$. Это значение может быть получено для известного значения момента при каком-либо относительном значении $M_{\text{КО}}$ для каждой

частоты вращения. В качестве известного значения предлагается величина номинального крутящего момента M_H и его изменение $M(n)$ по внешней скоростной характеристике. Значение $M(n)$ определяется с помощью коэффициента запаса крутящего момента k_M :

$$k_M = M(n)/M_H. \quad (5)$$

Значения k_M для различной частоты вращения, полученные по внешней скоростной характеристике дизеля Deutz BF 6M 2012 C приведены на рисунке 2.

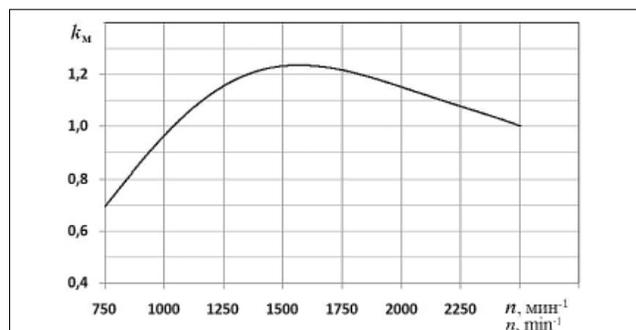


Рис. 2. Изменение коэффициента момента k_M по частоте вращения n для двигателя Deutz BF 6M 2012 C (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Открытый доступ. Дата обращения: 11.09.2022)

Fig. 2. Change in torque coefficient k_M by rotation speed n for the Deutz BF 6M 2012 C engine (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Open access. Access date: 09.11.2022)

Имея полученное уравнение (4) для расчета G_{TO} (л/ч), плотность топлива ρ_T (кг/м³), для каждого режима по частоте вращения n (мин⁻¹), нагрузке $M_{КО}$ (%), коэффициенту k_M и номинальному значению крутящего момента двигателя M_H (Н·м) удельный эффективный расход топлива g_e (г/кВт·ч) может быть определен по зависимости:

$$g_e = 9550 \cdot (G_{TO} \cdot \rho_T) / (n \cdot M_{КО} \cdot k_M). \quad (6)$$

В результате обработки переданных по CAN-шине данных при номинальном значении $M_H = 592$ Н·м и плотности дизельного топлива $\rho_T = 820$ кг/м³ получена многопараметровая характеристика изменения удельного эффективного расхода топлива g_e в области рабочих режимов двигателя (рис. 3).

Обобщение информации по отдельным зонам для всей рабочей области позволило включить в анализ большое количество режимов работы двигателя. Минимальный расход топлива, равный 200-220 г/(кВт·ч), находится в 10-м диапазоне. По данным фирмы Deutz, этот показатель составляет 202 г/(кВт·ч), т.е. расчетное значение попадает в пределы, указанные компанией-производителем.

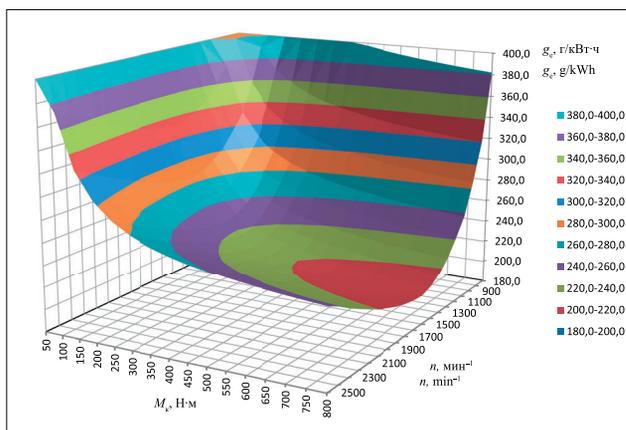


Рис. 3. Многопараметровая характеристика двигателя удельного расхода топлива двигателя Deutz BF 6M 2012 C в зависимости от удельного эффективного расхода топлива, крутящего момента и частоты вращения

Fig. 3. Multi-parameter characteristics of specific fuel consumption for the Deutz BF 6M 2012 C depending on the specific effective fuel consumption, engine torque and rotation speed

Выводы

Разработана методика получения многопараметровой характеристики удельного эффективного расхода дизельного топлива по результатам анализа данных системы управления тракторного двигателя в процессе эксплуатации.

В уравнении регрессии часовой расход топлива рассматривается как функция от частоты вращения и нагрузки двигателя и позволяет получать достоверную зависимость по массиву данных не менее восьми зарегистрированных режимов. Таким образом для различных зон рабочих режимов двигателя возможно получить уравнения регрессии с коэффициентом детерминации не менее 0,95.

Разработанная методика позволяет реализовать статистический анализ режимов работы дизеля с разбивкой всей области как минимум на восемь зон. Для 18 таких зон получена регрессионная зависимость для всей области рабочих режимов с коэффициентом детерминации $R^2 \approx 1,0$ и критерием Фишера $F = 7059$, подтверждающих достоверность полученной зависимости. Расчетная величина удельного расхода топлива попадала в диапазон 200-220 г/(кВт·ч) с отклонением $\pm 5\%$.

Предложенный подход может быть реализован по другим показателям двигателя и их изменениям в процессе эксплуатации. По результатам анализа можно оценить техническое состояние отдельных узлов и агрегатов машины и своевременно провести техническое обслуживание или ремонт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градов Е.А. Бесконтактная диагностика определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной сельскохозяйственной техники // *Технический сервис машин*. 2023. N2. С. 32-39. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. EDN: CCWBKW.
2. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. и др. Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения // *Агроинженерия*. 2023. N25(5). С. 34-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.
3. Валиев А.Р., Абдразаков Ф.Г., Сосницкий В.В. Организация диагностирования подвижного состава в режиме реального времени. *Journal of Advanced Researching Technical Science*. 2019. N14-2. С. 200-204. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-200-204. EDN: BRRELI.
4. Abediasl H., Ansari A., Hosseini V., Koch C.R., Shahbakhiti M. Real-time vehicular fuel consumption estimation using machine learning and on-board diagnostics data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2023. DOI: 10.1177/095-44070231185609.
5. Qiu Z., Shi G., Zhao B., Jin X., Zhou L. Combine harvester remote monitoring system based on multi-source information fusion. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 194. 106771. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106771.
6. Катаев Ю.В. Диагностирование технического состояния мобильных энергетических средств с использованием цифровых технологий // *Технический сервис машин*. 2023. N1. С. 21-28. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28.
7. Торопов Е.И., Трусов Ю.П., Вашурин А.С., Мошков П.С. Оценка точности измерения расхода топлива на основе данных из бортовой сап-шины. *Справочник. Инженерный журнал*. 2021. N12 (297). С. 32-38. DOI: 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038. EDN: ZNGHQX.
8. Девянин С.Н., Щукина В.Н. Оценка технического состояния двигателя по расходу топлива в режиме холостого хода. *Техника и оборудование для села*. 2019. N1. С. 34-38. EDN: YZCLFB.
9. Бижаев А.В., Симеон А.А. Применение пальмового масла в качестве присадки к топливу тракторных дизельных двигателей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N6. С. 41-46. EDN: YLSVMV.
10. Назаров Н.Н., Некрасова И.В. Оценка и выбор машинно-тракторных агрегатов при культивации по энергетическим затратам // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2022. N52(1). С. 70-80. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-8>.
11. Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Бесконтактная диагностика двигателя трактора через сап-интерфейс // *Техника и оборудование для села*. 2023. N8. С. 36-39. EDN: SZBRR1.

REFERENCES

1. Gradov E.A. Beskontaktnaya diagnostika opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya energonasyshchennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The contactless diagnostics to determine the technical condition of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2023. N2. 32-39 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. EDN: CCWBKW.
2. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V., et al. Distantionnyy kontrol' chastity vrashcheniya kolenchatogo vala dvigatelya traktora s ispol'zovaniem algoritma mashinno-go obucheniya [Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm]. *Agroinzheneriya*. 2023. N25(5). 34-39 (In Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.
3. Valiev A.R., Abdrazakov F.G., Sosnitskiy V.V. Organizatsiya diagnostirovaniya podvizhnogo sostava v rezhime real'nogo vremeni [Organization of rolling stock diagnostics in real time]. *Journal of Advanced Researching Technical Science*. 2019. N14-2. 200-204 (In Russian). DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-200-204. EDN: BRRELI.
4. Abediasl H., Ansari A., Hosseini V., et al. Real-time vehicular fuel consumption estimation using machine learning and on-board diagnostics data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2023 (In English). DOI:10.1177/09544070231185609.
5. Qiu Z., Shi G., Zhao B., et al. Combine harvester remote monitoring system based on multi-source information fusion. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 194. 106771 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2022.106771.
6. Kataev Yu.V. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv s ispol'zovaniem tsifrovyykh tekhnologiy [Diagnosing the technical condition of mobile power equipment using digital technologies]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2023. N1. 21-28 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28.
7. Toropov E.I., Trusov Yu.P., Vashurin A.S., Moshkov P.S. Otsenka tochnosti izmereniya raskhoda topliva na osnove dannykh iz bortovoy can-shiny [Estimation of the accuracy of fuel consumption measurement based on data from the on-board can-bus]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*. 2021. N12(297). 32-38 (In Russian). DOI: 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038. EDN: ZNGHQX.
8. Devyanin S.N., Shchukina V.N. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya dvigatelya po raskhodu topliva v rezhime kholostogo khoda [Evaluation of the technical state of an engine based on the fuel consumption when idling]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N1. 34-38 (In Russian). EDN: YZCLFB.

9. Bizhaev A.V., Simeon A.A. Primenenie pal'movogo masla v kachestve prisadki k toplivu traktornykh dizel'nykh dvigateley [Palm oil use as additive to fuel for tractor diesels]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N6. 41-46 (In Russian). EDN: YLSVMV.
10. Nazarov N.N., Nekrasova I.V. Otsenka i vybor mashinno-traktornykh agregatov pri kul'tivatsii po energeticheskim zatsratam [Evaluation and selection of machine-tractor units during cultivation by energy costs]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2022. 52(1). 70-80 (In Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-8>.
11. Kataev Yu.V., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Beskontaktnaya diagnostika dvigatelya traktora cherez can-interfeys [Contactless diagnostics of the tractor engine via the can-interface]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2023. N8. 36-39 (In Russian). EDN: SZBRRI.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Девянин С.Н. – разработка методики исследования, анализ полученных в результате экспериментов данных;
 Бижаев А.В. – научное руководство, обработка полученных экспериментов данных;
 Павлов Я.Д. – проведение экспериментов для снятия характеристик с трактора АТМ 4200;
 Ветрова С.М. – формирование характеристик по результатам эксперимента, редактирование графической части;
 Барчукова А.С. – изучение состояния вопроса, анализ литературы.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Devyanin S.N. – development of research methodology, analysis of experimental data;
 Bizhaev A.V. – scientific guidance, processing of experimental data;
 Pavlov Ya.D. – conducting experiments to remove characteristics from the ATM 4200 tractor;
 Vetrova S.M. – formation of characteristics based on the results of the experiment, editing of the graphic part;
 Barchukova A.S. – studying the state of the issue, analyzing the literature.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

03.10.2023
 20.11.2023

Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной

Григорий Александрович Иовлев,
кандидат экономических наук, доцент,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Ирина Игоревна Голдина,
старший преподаватель,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. Тяговые свойства трактора зависят от многих факторов: мощности двигателя, эксплуатационной массы и ее распределения между мостами, размерности, профиля, диапазона и количества передач. Кроме этого важно техническое состояние трактора – от топливной системы, влияющей на выходные показатели мощности двигателя, до ходовой части, влияющей на проходимость, управляемость, деформацию почвы. (*Цель исследования*) Изучить влияние на тяговые свойства трактора способа соединения с сельскохозяйственной машиной, массы сельскохозяйственной машины, ширины захвата на основные технико-экономические показатели. Проанализировать зависимость от геометрических параметров трактора и сельскохозяйственных машин реакции почвы под опорными колесами машины, передними и задними колесами трактора. Определить влияние конструктивных особенностей культиваторов с различной шириной захвата на основные эксплуатационные свойства машинно-тракторного агрегата. (*Материалы и методы*) Исследование эксплуатации трактора «Беларус 82.1» с культиваторами КПС-4 и КПС-5 различных производителей проводили с использованием расчетного, расчетно-конструктивного, расчетно-графического, экономико-математических методов, а также сравнения, измерения, описания. (*Результаты и обсуждение*) Определили показатели, влияющие на изменение нагрузки, которая передается на трактор от навесных культиваторов. По этим показателям определены изменения реакций почвы на опорные колеса культиваторов и задние колеса трактора. (*Выводы*) На основании расчетов по влиянию навесных культиваторов с различной шириной захвата (эксплуатационной массой) на перераспределение реакций почвы между мостами определено изменение тягового усилия трактора, производительность машинно-тракторного агрегата, удельный расход топлива. **Ключевые слова:** мощность двигателя, движитель, коэффициент сцепления, реакция почвы, тяговое сопротивление, равновесие моментов, толкающая сила.

■ **Для цитирования:** Иовлев Г.А., Голдина И.И. Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 75-81. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81. EDN: HFALZX.

Dependence of Tractor Traction Properties on Agricultural Machinery Connections

Gregory A. Iovlev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Irina I. Goldina,
senior lecturer,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Tractor traction properties depend on many factors including engine power, operating weight and tractor weight distribution across axles, dimensions, profile, gears range and gear count in the gearbox. Moreover, the tractor technical condition plays a vital role, encompassing aspects from the fuel system affecting the engine power output, to the chassis, influencing terrain traversability, maneuverability, and soil deformation. (*Research purpose*) The paper addresses several research problems. To investigate the impact of the agricultural machinery connections with the tractor on the tractor traction properties, and determine the impact of agricultural machinery weight, and grip width on the main technical and economic parameters. To analyze how geometrical parameters of tractors and agricultural machinery correlate with soil reactions under the machine support wheels as well as the front and rear wheels of the tractor. To determine the influence of the design characteristics of cultivators with varying working widths on the main operational properties of the machine-tractor unit. (*Materials and methods*) The study involves examining the operation of the *Belarus 82.1* tractor with cultivators *KPS-4* and *KPS-5* from different manufacturers. Various methods were employed, including

calculation, calculation-construction, calculation-graphic analysis, economic-mathematical techniques, along with comparison, measurement, and description. (*Results and discussion*) This study identified indicators impacting the load redistribution transmitted to the tractor from mounted cultivators. Based on these indicators, alterations in soil reactions under cultivator support wheels and the tractor's rear wheels were deduced. (*Conclusions*) The calculations on the effect of mounted cultivators with different working widths (different operating weight) on the redistribution of soil reactions between axles, enabled the determination of modifications in tractor traction force, machine-tractor unit productivity, and specific fuel consumption.

Keywords: engine power, propulsor, friction coefficient, soil reaction, traction resistance, moment balance, pushing force.

For citation: Iovlev G.A., Goldina I.I. Zavisimost' tyagovykh svoystv traktora ot tipa soedineniya s sel'skokhozyaystvennoy mashinoy [Dependence of tractor traction properties on agricultural machinery connections]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 75-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81. EDN: HFALZX.

При формировании парка транспортно-технологических машин для выполнения комплекса работ по возделыванию сельскохозяйственных культур задействуют тракторы с различными тяговыми усилиями и энергонасыщенностью. Для выполнения эксплуатационных операций с трактором соединяют сельскохозяйственные машины с различной шириной захвата. По способу соединения с трактором различают навесные и прицепные машины.

Тяговые свойства трактора определяются его движущей силой, весом и коэффициентом сцепления с почвой. Коэффициент сцепления зависит от агрофона обрабатываемой почвы, состояния дорог и при выполнении транспортных операций равен от 0,5 до 0,9. При расчете тяговых свойств необходимо также учитывать уклон обрабатываемой поверхности и дорожного полотна.

В эксплуатационном весе трактора важна вертикальная составляющая тягового сопротивления агрегата, которая зависит от величины тягового сопротивления и угла приложения тягового усилия. Это значит, при работе с навесными орудиями следует учитывать влияние их силового воздействия на тяговые свойства колесных тракторов.

Цель исследования. Изучить влияние на тяговые свойства трактора способа соединения с сельскохозяйственной машиной; определить зависимость от геометрических параметров трактора и сельскохозяйственных машин реакции почвы под их колесами; влияние конструктивных особенностей культиваторов с различной шириной захвата на эксплуатационные свойства машинно-тракторного агрегата.

Материалы и методы. Исследование выполнено с использованием руководства по эксплуатации трактора «Беларус 82.1», культиваторов КПС-4 и КПС-5, а также с учетом информации в опубликованных работах отечественных и зарубежных ученых.

Использовались методы:

- расчетный, расчетно-конструктивный, расчетно-графический, измерения (определение центра тяжести у трактора, культиватора, реакции почвы на опорные колеса культиваторов, колеса трактора, угла между горизонталью и результирующей силы от

тягового сопротивления и веса культиватора, угла наклона нижних тяг навески трактора);

- сравнения (реакции почвы на опорное колесо культиватора и колеса трактора при сравнении эксплуатационных свойств агрегата с различными культиваторами);

- описания (формирование тяговых свойств трактора);
- экономико-математические (сравнение эксплуатационных свойств машинно-тракторного агрегата).

Результаты и обсуждение. Сельскохозяйственные машины в зависимости от способа соединения с трактором по-разному влияют на формирование его тяговых свойств. Отмечается, что использование в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) навесных машин и орудий изменяет распределение нормальных реакций почвы на колеса трактора [1, 2]. Совершенствование технологических процессов в растениеводстве связано с научно обоснованным выбором рациональных параметров МТА, в том числе его подъемно-навесного устройства (ПНУ).

Данным направлением занимались многие отечественные ученые, рассматривая влияние на тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины расстояния между рабочими органами в продольной плоскости [3, 4]. Коллектив авторов под руководством Кравченко В.А., используя теоретико-экспериментальный метод исследования при оценке эффективности различных вариантов движителей, рассмотрели реакции типов почвы, различных агрофонов на «широкопрофильные шины» и с увеличенным наружным диаметром [5-7]. При оценке эффективности учитывались такие показатели, как кинематический радиус качения r_k , нормальная нагрузка R к горизонтальной поверхности на испытываемое колесо. В этих исследованиях также изучались тягово-сцепные свойства шин из новых материалов [5-7].

Для снижения реакций почвы на колеса, повышения эксплуатационных свойств предлагается устанавливать сдвоенные колеса, а для балластирования использовать воду или незамерзающий раствор хлорида кальция [8, 9].

Результаты изучения эксплуатационных свойств сельскохозяйственных тракторов приведены и в [10].

Кроме того, определенный вклад в изучение данной темы внесли работы [11-13].

Основной целью исследования, результаты которого обобщены в данной статье, было определение влияния способа соединения сельскохозяйственной машины с трактором на его тяговые свойства.

Расчеты влияния навесных культиваторов КПС-4 и КПС-5 на тяговые свойства трактора «Беларус 82.1» проведены, исходя из действующих на МТА сил (рис. 1).

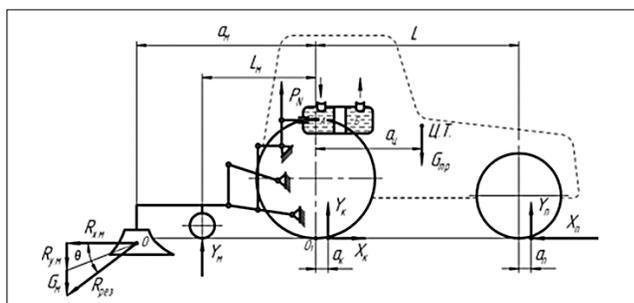


Рис. 1. Силы, действующие на машинно-тракторный агрегат в продольной плоскости

Fig. 1. Forces acting on the machine-tractor unit in the longitudinal plane

Для определения влияния навесных орудий на повышение сцепного веса трактора используем уравнение равновесия моментов относительно точки O_1 [14]:

$$a_M \cdot R_{XM} \cdot \operatorname{tg} \theta - Y_M \cdot L_M + Y_K \cdot a_K + Y_P (L + a_{\Pi}) - G_{TP} \cdot a_{\Pi} = 0, \quad (1)$$

где a_M – расстояние от центра заднего моста до центра тяжести культиватора;

R_{XM} – тяговое сопротивление культиватора;

θ – угол между горизонталью и результирующей силы от тягового сопротивления и веса культиватора, град;

Y_M – реакция почвы на опорные колеса культиватора;

L_M – расстояние от центра заднего моста до центра опорного колеса культиватора;

Y_K – реакция почвы на задние колеса;

a_K – смещение приложения реакции почвы и толкающей силы на заднем колесе;

Y_P – реакция почвы на передние колеса;

L – база трактора;

a_{Π} – смещение приложения реакции почвы и толкающей силы на переднем колесе;

G_{TP} – эксплуатационный вес трактора;

a_{Π} – расстояние от центра заднего моста до центра тяжести трактора.

После преобразования уравнения (1) реакция почвы на задние колеса

$$Y_K \cdot a_K = Y_M \cdot L_M - a_M \cdot R_{XM} \cdot \operatorname{tg} \theta - Y_P (L + a_{\Pi}) + G_{TP} \cdot a_{\Pi}. \quad (2)$$

Для расчетов по формуле (2) известны следующие величины:

$L_M = 1539$ мм (1089 мм от центра заднего моста до центра шаровых опор нижних тяг, 450 мм от прицепного устройства до центра опорного колеса культиватора);

$L = 2450$ мм;

$R_{XM} = 7,99$ кН (815 кг);

$a_M = 1739$ мм (1089 мм от центра заднего моста до центра шаровых опор нижних тяг, 650 мм от прицепного устройства до центра тяжести культиватора);

$G_{TP} = 36,8$ кН (3750 кг);

$a_{\Pi} = (Y_P \cdot L) / G_{TP} = (1407 \cdot 2450) / 3750 = 919$.

Для определения смещения приложения реакции почвы и толкающей силы на колесах можно использовать формулу:

$$f = a / r, \quad (3)$$

где f – коэффициент сопротивления качению колеса;

r – динамический радиус колеса, мм [15].

После преобразования формулы (3) получаем:

для ведущего колеса $a_K = f \cdot r_K = 0,105 \cdot 824 = 86,5$ мм;

для ведомого колеса $a_{\Pi} = f \cdot r_K = 0,105 \cdot 500 = 52,5$ мм.

Для определения реакции почвы на задние колеса необходимо определить реакцию почвы на опорные колеса культиватора:

$$Y_M = R_{XM} \cdot \operatorname{tg} \theta - R_{XM} \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (4)$$

где γ – угол наклона нижних тяг навески трактора, град.

Углы $\theta = 20^\circ$ и $\gamma = 10^\circ$ определены расчетно-графическим методом с использованием инструкций по эксплуатации трактора «Беларус 82.1» и культиватора КПС-4. Получаем:

$$Y_M = 815 \cdot 0,364 - 815 \cdot 0,1763 = 296,7 - 143,7 = 153 \text{ кг.}$$

Преобразовав уравнение (2), находим значение реакции почвы на задние колеса при использовании культиватора КПС-4. С учетом того, что $Y_K \cdot a_K + Y_P \cdot a_{\Pi} = M_f$ (M_f – момент сопротивления качению колеса), по оптимальному распределению эксплуатационного веса трактора между мостами момент сопротивления качению колеса:

$$M_f = 2343 \cdot 0,0865 + 1407 \cdot 0,0525 = 202,7 + 73,9 = 276,6 \text{ кг.}$$

Реакция почвы на задние колеса Y_K численно равна эксплуатационной массе машинно-тракторного агрегата, приходящейся на задний мост трактора:

$$Y_K = [G_{TP} \cdot (L - a_{\Pi}) + R_{XM} \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot (L + a_M) - Y_M \cdot (L + L_M) + M_f] / L;$$

$$Y_K = [3750 \cdot (2,45 - 0,919) + 815 \cdot 0,364 \cdot (2,45 + 1,739) -$$

$$- 153 \cdot (2,45 + 1,539) + 276,6] / 2,45 =$$

$$= (5741,2 + 1242,7 - 630,3 + 276,6) / 2,45 = 2706 \text{ кг.}$$

В целом, с учетом перераспределения массы куль-

тиватора и его тягового сопротивления на задний мост трактора, эксплуатационная масса трактора составит 4113 кг, т.е. тяговое усилие увеличится с 14,4 до 15,8 кН.

Для определения производительности агрегата и удельного расхода топлива рассчитаны тяговые усилия трактора на различных рабочих передачах (табл. 1).

Расход топлива

$$g_{\Gamma A} = (G_P + G_{\Pi} + G_{\text{ПЕР}} + G_{\text{ХД}}) / W_{\text{ч}}, \quad (6)$$

где G_P , G_{Π} , $G_{\text{ПЕР}}$, $G_{\text{ХД}}$ – средний часовой расход топлива в течение смены соответственно при выполнении основной (чистой) работы, холостом ходе на поворо-

Передача Transmission	Скорость, км/ч / Speed, km/h		Тяговое усилие, кН / Traction force, kN	
	Без понижающего редуктора Without reduction gear	С понижающим редуктором With reduction gear	Без понижающего редуктора Without reduction gear	С понижающим редуктором With reduction gear
2	4,38		15,8	
3	7,44	5,63	13,9	15,0
4	9,15	6,92	12,9	14,2
5	10,83	8,19	11,9	13,5
6	12,67	9,59	10,7	12,6
7	15,5	11,78	9,03	11,3
8		13,95		9,97

Исходные данные для расчетов при выполнении технологической операции культивации: удельное сопротивление – 1,7 кН/м, коэффициент сопротивления перекачиванию – 0,15, запас тягового усилия 7,5%. При расчетах необходимо выбирать возможно более высокие скорости в соответствии с агротехническими требованиями.

Для трактора с культиватором КПС-4 определяли эксплуатационные свойства (тяговое сопротивление 7,99 кН).

Часовая производительность:

$$W_{\text{ч}} = e \cdot B_p \cdot V_p = e \cdot \zeta_B \cdot B_a \cdot \zeta_v \cdot V_T \cdot \tau, \text{ га/ч}, \quad (5)$$

где e – коэффициент, учитывающий единицы измерения скорости движения агрегата. При использовании рабочей скорости в (км/ч) $e = 0,1$;

B_p и B_a – соответственно рабочая и конструктивная ширина захвата агрегата, м; $B_p = \zeta_B \cdot B_a$;

ζ_B – коэффициент использования ширины захвата, учитывающий отличие рабочей ширины захвата от конструктивной. При поверхностной обработке почвы $\zeta_B = 0,95-0,96$;

V_p и V_T – соответственно рабочая и теоретическая скорость движения агрегата, км/ч; $V_p = \zeta_v \cdot V_T$,

ζ_v – коэффициент использования скорости. Для тракторов класса 1,4 тс $\zeta_v = 0,77$;

τ – коэффициент использования времени смены; $\tau = T_p / T_{\text{см}}$. При хорошей организации труда и нормальных условиях эксплуатации $\tau = 0,7-0,8$.

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на 7-й передаче без понижающего редуктора (15,5 км/ч) с тяговым усилием 9,03 кН и его запасом, поэтому

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 15,5 \cdot 0,75 = 3,42 \text{ га/ч.}$$

тах, переездах и холостой работе двигателя (остановки агрегата с работающим двигателем), кг/ч.

Средний часовой расход топлива принимается по справочным данным или путем расчета через удельный расход топлива на одну эффективную лошадиную силу и степень загрузки двигателя.

$$g_{\Gamma A} = (12,75 \cdot 0,75 + 7 \cdot 0,25) / 3,42 = (9,56 + 1,75) / 3,42 = 3,31 \text{ кг/га.}$$

Влияние культиватора КПС-5 на повышение сцепного веса трактора определяли также расчетно-графическим методом с использованием инструкций по эксплуатации трактора «Беларус 82.1» и культиватора КПС-5. Отличительные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 2.

Эксплуатационная масса трактора составит 4188 кг, т.е. его тяговое усилие увеличится с 14,4 до 16,1 кН.

Тяговые усилия трактора на различных рабочих передачах, данные расчетов представлены в табл. 3.

Определим эксплуатационные свойства для трактора с культиватором КПС-5 (тяговое сопротивление 11,39 кН).

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на 6-й передаче с понижающим редуктором (9,59 км/ч) с тяговым усилием 12,9 кН и с запасом тягового усилия.

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 9,59 \cdot 0,75 = 3,43 \text{ га/ч.}$$

У трактора с прицепным вариантом культиватора тяговое усилие направлено на преодоление тягового сопротивления орудия. При равной высоте прицепного устройства культиватора и тягового устройства трактора реакция почвы на мостах не изменится, поэтому при расчетах производительности МТА необходимо использовать номинальное тяговое усилие.

Таблица 2

Table 2

ПОКАЗАТЕЛИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ НАГРУЗКИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ НА ТРАКТОР ОТ НАВЕСНЫХ КУЛЬТИВАТОРОВ КПС-4/ТРАКТОР И КПС-5
INDICATORS AFFECTING LOAD VARIATION TRANSMITTED TO THE TRACTOR FROM MOUNTED CULTIVATORS KPS-4/TRACTOR AND KPS-5

Показатель / Indicator	Состав агрегата / Unit composition	
	Трактор + КПС-4 Tractor + KPS-4	Трактор + КПС-5 Tractor + KPS-5
Расстояние от центра заднего моста до центра тяжести культиватора a_M , мм Distance from the rear axle center to the center of gravity of the cultivator a_M , mm	1739	1811
Расстояние от центра заднего моста до центра опорного колеса культиватора L_M , мм Distance from the rear axle center to the center of the cultivator support wheel L_M , mm	1539	1589
Тяговое сопротивление культиватора R_{XM} , кН (кг) Traction resistance of the cultivator R_{XM} , kN (kg)	7,99(815)	11,39 (1059)
Реакция почвы на опорные колеса культиватора Y_M , кг Soil reaction to the cultivator support wheels Y_M , kg	153	187,5
Угол между горизонталью и результирующей силы от тягового сопротивления и веса культиватора θ , град The angle between the horizontal and the resulting force from the traction resistance and the cultivator weight θ , degree	20	19
Угол наклона нижних тяг навески трактора γ , град Angle of inclination of the lower links of the tractor hitch γ , degree	10	9,5
Реакция почвы на задние колеса Y_K , кг Soil reaction to the rear wheels Y_K , kg	2706	2781

Таблица 3

Table 3

ТЯГОВЫЕ УСИЛИЯ ТРАКТОРА НА РАЗЛИЧНЫХ ПЕРЕДАЧАХ / TRACTOR TRACTION FORCES IN VARIOUS GEARS

Передача Transmission	Скорость, км/ч / Speed, km/h		Тяговое усилие, кН / Traction force, kN	
	Без понижающего редуктора/ Without reduction gear	С понижающим редуктором/ With reduction gear	Без понижающего редуктора/ Without reduction gear	С понижающим редуктором/ With reduction gear
2	4,38		16,1	
3	7,44	5,63	14,2	15,3
4	9,15	6,92	13,1	14,5
5	10,83	8,19	12,1	13,7
6	12,67	9,59	11,0	12,9
7	15,5	11,78	9,2	11,5
8		13,95		10,2

Часовая производительность при использовании прицепного культиватора КПС-4

$$W_q = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 13,95 \cdot 0,75 = 3,08 \text{ га/ч.}$$

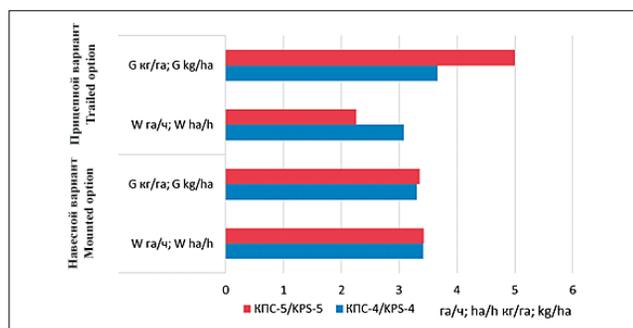


Рис. 2. Часовая производительность и удельный расход топлива при использовании трактора в агрегате с культиваторами КПС-4/трактор и КПС-5 при различных вариантах соединения

Fig. 2. Hourly productivity and specific fuel consumption when using the tractor in conjunction with cultivators KPS-4/tractor and KPS-5 in different connection variants

Трактор способен выполнять технологическую операцию культивации на 8-й передаче с понижающим редуктором (13,95 км/ч) с тяговым усилием 9,09 кН и с запасом тягового усилия.

Часовая производительность при использовании прицепного культиватора КПС-5:

$$W_q = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 8,19 \cdot 0,75 = 2,26 \text{ га/ч.}$$

Для наглядности результаты расчетов производительности и удельного расхода топлива для агрегатов с навесными и прицепными вариантами культиваторов КПС-4 и КПС-5 представлены на рис. 2.

Выводы. Масса навесного сельскохозяйственного орудия в рабочем положении влияет на тяговые свойства трактора. Так, при работе машинно-тракторного агрегата «Беларус 82.1» + КПС-4 в результате перераспределения массы культиватора, его тягового сопротивления на задний мост трактора тяговое усилие составит 15,8 кН, что на 9,7% больше номинального значения, часовая производительность увеличится на 11%, удельный расход топлива меньше на

9,8%, чем при использовании прицепного варианта культиватора.

При соединении с навесным культиватором КПС-5 тяговое усилие составит 16,1 кН, это на 11,8% больше номинального, часовая производительность повысится в 1,5 раза, удельный расход топлива на 32,8% меньше по сравнению с прицепным вариантом соединения.

При сравнении навесных вариантов культиваторов часовая производительность практически равная, но удельный расход топлива у агрегата в составе «Беларус 82.1» + КПС-4 ниже на 9,8%, чем у агрегата с культиватором КПС-5, поэтому предпочтительнее трактор «Беларус 82.1» использовать с культиватором КПС-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.Б. Влияние подъемно-навесного устройства на перераспределение нагрузки на колеса сельскохозяйственного трактора // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2020. N1(80). С. 32-39. EDN: QNPEBA.
2. Попов В.Б. Аналитическое определение тяговой нагрузки трактора со стороны агрегируемого навесного плуга // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2021. N2 (85). С. 62-68. EDN: SBDKXQ.
3. Капов С.Н., Хаустов П.А. Влияние расстояния между рабочими органами плоскореза-щелевателя на тяговое сопротивление сельскохозяйственного орудия // *Вестник аграрной науки Дона*. 2023. Т. 16. N1(61). С. 29-38. EDN: SFUKKD.
4. Славкин В.И., Махмутов М.М., Хисматулина Ю.Р., Гладкова Е.В. Исследование тягово-сцепных свойств колесного движителя сельскохозяйственного агрегата на примере тракторов типа «Беларусь» // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2019. N31(36). С. 55-61. EDN: CCGSDI.
5. Кравченко В.А., Меликов И.М., Кондра Б.А. Влияние габаритных размеров шин на тягово-сцепные и агротехнические показатели трактора тягового класса 5 // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. N166. С. 53-67. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-166-007>.
6. Кравченко В.А., Кравченко Л.В., Меликов И.М. Сравнительная оценка тягово-сцепных свойств крупногабаритных шин с разным конструктивным исполнением для трактора пятого тягового класса // *Вестник аграрной науки Дона*. 2021. N4(56). С. 4-15.
7. Кравченко В.А., Кравченко Л.В. Результаты исследования тягово-сцепных свойств олигомерных шин для движителей тракторов третьего тягового класса // *Вестник аграрной науки Дона*. 2020. N1(49). С. 10-20. EDN: LYCGNA.
8. Журавлёв С.Ю. Улучшение эксплуатационных свойств колесных 4к4 сельскохозяйственных тракторов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N4(84). С. 127-132.
9. Ребров О.Ю. Визначення максимального тиску на ґрунт сільськогосподарських шин при різних способах баластування трактора // *Автомобільний транспорт*. Харьков: 2019. N45. С. 112-122. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.112.
10. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Улучшение эксплуатационных свойств сельскохозяйственных тракторов // *Вестник Вятского ГАУ*. 2022. N1(11). С. 5.
11. Tarandeep S., Verma A., Singh M. Development and implementation of an IOT based instrumentation system for computing performance of a tractor-implement system. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 97. 105-118. DOI: 10.1016/j.jterra.2021.07.002.
12. Mohieddinne H., Yatskul A., Ugarte C., et al. Trade-off between agronomical and energetical performances during barley sowing varying adjustable parameters in a tractor-tire-tool system. *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 226. 105582. DOI: 10.1016/j.still.2022.105582.
13. Solonshchikov P., Moshonkin A. Determination of safety parameters for cars and tractors. *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 61. 492-498. DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.080. EDN ELCNBC.
14. Ялалетдинов Д.А. Обоснование параметров механизма навешивания универсального орудия для поверхностной обработки почвы к трактору // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2022. N4(64). С. 144-150. DOI 10.31563/1684-7628-2022-64-4-144-150. EDN EWJOOV.
15. Калашников С.С., Калашников С.Ф., Раднаев Д.Н., Петров В.А. Методика измерения удельных давлений колёс трактора на почву и определение коэффициента сопротивления качению // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2023. N1(70). С. 150-157. DOI 10.34655/bgsha.2023.70.1.018. EDN: YGMMDI.

REFERENCES

1. Popov V.B. Vliyaniye podemno-navesnogo ustroystva na pereraspredeleniye nagruzki na kolesakh sel'skokhozyaystvennogo traktora [Effect of hydraulic lift system on load redistribution on the wheels of an agricultural tractor]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2020. N1(80). 32-39 (In Russian). EDN: QNPEBA.
2. Popov V.B. Analiticheskoye opredeleniye tyagovoy nagruzki traktora so storony agregatiruemogo navesnogo pluga [Analytical definition of traction load of tractor from the side of aggregated mounted plough]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2021. N2(85). 62-68 (In Russian). EDN: SBDKXQ.
3. Kapov S.N., Khaustov P.A. Vliyaniye rasstoyaniya mezhdu rabochimi organami ploskoreza-shchelevatelya na tyagovoye

- soprotivlenie sel'skokhozyaystvennogo orudiya [Influence of the distance between the working tools of the flat cutter-slitter on the traction resistance of the agricultural implement]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2023. Vol. 16. N1(61). 29-38 (In Russian). EDN: SFUKKD.
4. Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Khismatullina Yu.R., Gladkova E.V. Issledovanie tyagovo-stsepnikh svoystv kolesnogo dvizhitelya sel'skokhozyaystvennogo agregata na primere traktorov tipa «Belarus» [The study of traction properties wheeled propulsion agricultural unit in the example of tractor of type "Belarus"]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*. 2019. N31(36). 55-61 (In Russian). EDN: CCGSDI.
 5. Kravchenko V.A., Melikov I.M., Kondra B.A. Vliyanie gabaritnykh razmerov shin na tyagovo-stsepnye i agrotekhnicheskie pokazateli traktora tyagovogo klassa 5 [The impact of the tires of overall sizes on the traction-coupling and agrotechnical parameters in the tractor of class 5 traction]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. N166. 53-67 (In Russian). <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-166-007>.
 6. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V., Melikov I.M. Sravnitel'naya otsenka tyagovo-stsepnikh svoystv krupnogabaritnykh shin s raznym konstruktivnym ispolneniem dlya traktora pyatogo tyagovogo klassa [Comparing traction and coupling performance of various design oversized tires for a fifth-class tractor]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2021. N4(56). 4-15 (In Russian).
 7. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. Rezultaty issledovaniya tyagovo-stsepnikh svoystv oligomernykh shin dlya dvizhitel'nykh traktorov tret'ego tyagovogo klassa [Exploring traction-coupling characteristics of oligomeric tires for third-class tractor propulsion systems: research findings]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2020. N1(49). 10-20 (In Russian). EDN: LYCGNA.
 8. Zhuravlyov S.Yu. Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv kolyosnykh 4k4 sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Enhancing operational characteristics of 4k4 wheeled agricultural tractors]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. N4(84). 127-132 (In Russian).
 9. Rebrov O.Yu. Vyznachennyya maksimal'nogo tisku na rrunt sil'skogospodars'kikh shin pri riznikh sposobakh balastuvannyya traktora [Analyzing maximum soil pressure of agricultural tires: a comparative study of tractor ballasting methods]. *Avtomobil'niy transport*. Khar'kov: 2019. N45.112-122 (In Ukrainian). DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.112.
 10. Iovlev G.A., Goldina I.I. Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Improving the operational properties of agricultural tractors]. *Vestnik Vyatskogo GATU*. 2022. N1(11). 5 (In Russian).
 11. Tarandeep S., Verma A., Singh M. Development and implementation of an IoT based instrumentation system for computing performance of a tractor-implement system. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 97. 105-118 (In English). DOI: 10.1016/j.jterra.2021.07.002.
 12. Mohieddinne H., Yatskul A., Ugarte C. [et al.]. Trade-off between agronomical and energetical performances during barley sowing varying adjustable parameters in a tractor-tire-tool system. *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 226. 105582 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2022.105582.
 13. Solonshchikov P., Moshonkin A. Determination of safety parameters for cars and tractors. *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 61. 492-498 (In English). DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.080. EDN: ELCNBC.
 14. Yalaletdinov D.A. Obosnovanie parametrov mekhanizma naveshivaniya universal'nogo orudiya dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy k traktoru [Justification of the mechanism parameters of hanging a universal implement for surface soil treatment to a tractor]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. N4(64). 144-150 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2022-64-4-144-150. EDN: EWJOOV.
 15. Kalashnikov S.S., Kalashnikov S.F., Radnaev D.N., Petrov V.A. Metodika izmereniya udel'nykh davleniy kolyos traktora na pochvu i opredelenie koeffitsienta soprotivleniya kacheniyu [Method of measuring specific pressures of tractor wheels on the soil and determination of rolling resistance coefficient]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*. 2023. N1(70). 150-157 (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.018. EDN: YGMMDI.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Иовлев Г.А. – общее руководство, замысел исследования, анализ и интерпретация данных;

Голдина И.И. – разработка дизайна иллюстраций, подготовка статьи, ее критический анализ, окончательное одобрение варианта статьи для публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

06.07.2023

25.08.2023

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Iovlev G.A. – general supervision, research concept, data analysis and interpretation;

Goldina I.I. – illustration design development, manuscript preparation, critical analysis of the manuscript, manuscript final approval

The authors read and approved the final manuscript.

Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин

Роман Николаевич Задорожный,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Илья Владимирович Романов,
младший научный сотрудник,
e-mail: gosniti1953@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Расширение аграрного производства предполагает ускоренные темпы развития систем водоснабжения на сельскохозяйственных территориях. Вода потребляется при разведении животных, первичной обработке сырья, приготовлении жидких удобрений, на хозяйственно-бытовые и другие нужды. Большие объемы воды расходуются на приготовление жидких подкормок при выращивании культур, орошении полей. Для увеличения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы и повышения плодородия земель необходимо проводить ирригационные мероприятия. Дождевание относится к наиболее распространенным способам ирригации. Учитывая особенности рельефа местности, тип выращиваемой сельскохозяйственной продукции, а также обеспеченность конкретного хозяйства, следует выбирать определенные дождевальные машины, которые будут обеспечивать высокую эффективность полива. Дождевальные машины могут классифицироваться по принципу действия, по виду и типу, а также по преобразованию потока воды. *(Цель исследования)* Повысить эффективность ирригации путем подбора оптимальных параметров дождевальных машин с учетом условий местности. *(Материалы и методы)* Исследовали дождевальные машины, их производительность и технические характеристики, а также особенности рельефа. Проведен анализ литературных источников, экспериментальных данных о процессах ирригации; дана оценка эффективности использования конкретных машин и оборудования. *(Результаты и обсуждение)* Рассмотрели конструкции и принцип работы различных типов дождевальных машин, схемы и расчет интенсивности полива. Выявили недостатки конкретных схем орошения и типов дождевальных машин, предложили пути их устранения. *(Выводы)* Выбор схемы полива зависит от площади и рельефа орошаемого участка. В зависимости от финансовых возможностей хозяйства можно выбрать наиболее оптимальный тип дождевальной машины.

Ключевые слова: агропроизводство, водоснабжение, повышение эффективности, ирригация, дождевальная машина, схема полива.

■ **Для цитирования:** Задорожный Р.Н., Романов И.В. Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 82-86. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86. EDN: QLQRVO.

Enhancing Irrigation Efficiency Through the Selection of Sprinkler Machine Design

Roman N. Zadorozhnyi,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Ilya V. Romanov,
junior researcher,
e-mail: gosniti1953@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The expansion of agricultural production implies an accelerated pace of development of water supply systems in agricultural areas. Water is consumed during animal breeding, primary processing of raw materials, preparation of liquid fertilizers, for household and other needs. Large volumes of water are spent on preparing liquid fertilizers when growing crops and irrigating fields. To increase moisture reserves in the root layer of the soil and increase land fertility, it is necessary to carry out irrigation measures. Sprinkling is one of the most common methods of irrigation. Taking into account the characteristics of the terrain, the type of agricultural products grown, as well as the security of a

particular farm, you should choose certain sprinkler machines that will ensure high irrigation efficiency. Sprinklers can be classified according to their principle of operation, type and type, as well as according to the transformation of water flow. (*Research purpose*) Improving irrigation efficiency by selecting the optimal parameters of sprinklers based on local conditions. (*Materials and methods*) The object of the study was sprinkling machines, their performance and technical characteristics, as well as the features of the relief. The following research methods were used: analysis of literary sources; logical analysis of existing experimental data on irrigation processes; evaluation of the effectiveness of the use of specific machines and equipment; statistical data processing. (*Results and discussion*) The paper describes the design and operation of various sprinklers, provides irrigation schemes and calculations of its intensity. Shortcomings of specific irrigation schemes and types of sprinklers were identified, and ways to eliminate them were proposed. (*Conclusions*) The choice of irrigation scheme depends on the area of the site and its topography. Depending on the budget of the farm, you can choose the most optimal type of sprinkler.

Keywords: agricultural production, water supply, efficiency improvement, irrigation, sprinkler, irrigation scheme.

■ **For citation:** Zadorozhniy R.N., Romanov I.V. Povyshenie effektivnosti irrigatsii putem podbora konstruktsii dozhdval'nykh mashin [Enhancing irrigation efficiency through the selection of sprinkler machine design]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 82-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86. EDN: QLQRVO.

Дождевальная машина – разновидность сельскохозяйственной техники для проведения оросительных полевых работ путем разбрызгивания воды. Применение дождевальных машин дает возможность автоматизировать процесс полива [1]. Повышение эффективности ирригации, особенно в зонах с недостаточным увлажнением, положительно отразится как на продуктивности растениеводства, так и состоянии агропромышленного комплекса в целом. Решению этих задач способствует применение современного оборудования.

Дождевальные машины классифицируют по принципу действия, виду, типу, а также преобразованию потока воды. По принципу действия различают стационарные (капитальные), комбинированные (полустационарные и поворотные) и передвижные (мобильные) машины. По виду выделяют широкозахватные дождевальные машины, барабанного типа и со спринклерной системой полива. В зависимости от схемы орошения площадей широкозахватные машины подразделяют на фронтальные, фронтально-поворотные, ипподромные, канальные и круговые. По преобразованию потока воды принята классификация на веерные и струйные машины [2].

Следует отметить, что стационарные и комбинированные дождевальные машины эксплуатируют крупные и средние хозяйства на больших площадях орошения. Стационарные машины используют для выращивания агрокультур, требующих значительное количество влаги, а комбинированные – для правильного распределения воды, исключая ее перерасход. Эксплуатация передвижных машин характерна для небольших фермерских хозяйствах, в которых выращивают сезонные, сильно зависимые от влаги агрокультуры.

Урожайность каждого участка, требующего орошения, во многом зависит от правильного выбора ти-

па дождевальной машины [3]. Часто несколько машин может заменить одна установка другого типа или новой модели, что более выгодно как по финансовым, так трудовым затратам на обслуживание. Наиболее эффективный полив, согласно литературным источникам, показали широкозахватные дождевальные машины и барабанного типа.

Цель исследования. Подбор типа дождевальной машины для орошаемого участка, исходя из его размера, особенностей рельефа, требуемых интенсивности и скорости орошения, оптимизации затрат, бюджетных ограничений.

Материалы и методы. По информационным материалам разных производителей анализировали основные типы дождевальных машин: широкозахватные фронтального и кругового типов, барабанные, их характеристики, преимущества и недостатки. Для каждого типа подбирали местности, условия которых в наибольшей степени подходят для эффективного использования определенных оросительных установок. Также выявлены проблемы, связанные с эксплуатацией основных типов дождевальных машин, предложены возможные варианты их решения.

Результаты и обсуждение. При орошении дождевальными машинами обычно используют среднюю интенсивность искусственного дождя [4]:

$$\rho_m = 60 Q_{sd} / A_{sp} \quad (1)$$

где ρ_m – интенсивность искусственного дождя, мм/мин;
 Q_{sd} – расход воды, мм³/мин;
 A_{sp} – площадь одновременно поливаемого участка, мм².

$$A_{sp} = l(b + S), \quad (2)$$

где l и b – соответственно длина и ширина полосы увлажнения при стационарном положении агрегата с учетом перекрытия дождем со смежных позиций, м;

S – ширина перекрытия дождем со смежных позиций, м.

К примеру, для фронтальной дождевальной машины ДМФЕ «Фрегат» интенсивность искусственного дождя составит 0,65 мм/мин.

Круговая дождевальная машина представляет собой стационарную башню, вокруг которой вращается трубопровод длиной до 850 м и более с оросителями низкого давления (рис. 1). Сфера применения



Рис. 1. Широкозахватная дождевальная машина кругового типа

Fig. 1. Wide-cut circular sprinkler

таких круговых машин – на участках площадью от 2 до 230 га, при норме полива от 2 до 40 мм, а также на полях с крутизной склонов до 15° [5]. Преимуществом таких систем является автономность выполнения всех процессов без участия оператора. При выборе круговых дождевальных машин

следует учитывать размер и геометрию поля, рельеф, наличие естественных препятствий. Для ирригации большой площади потребуется несколько установок орошения. При их оптимальном размещении охват поля может достигать 85%, для машин данного типа это хороший показатель.

Нежелательным аспектом применения круговых машин является образование колеи. Раньше рекомендовалось увеличивать размер колес, однако этим проблема полностью не решается. Более того, шины с агрессивными протекторами часто только ухудшают ситуацию. Устранить данный недостаток можно заменой колес на гусеничный ход [6]. За счет того, что площадь контакта гусеницы с поверхностью увеличивается в 5 раз и более по сравнению с типичной шиной, нивелируется негативное воздействие оросительной установки на почву.

Важный недостаток круговых дождевальных машин заключается в том, что площадь охвата поля не перекрывает его угловые части, и для дополива требуются специальные системы.

Круговые машины могут орошать участки различной конфигурации, в том числе нестандартной (рис. 2).

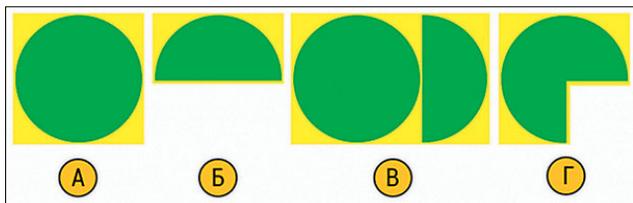


Рис. 2. Схема полива квадратного (А), прямоугольного (Б, В), нестандартного (Г) участков круговыми дождевальными машинами

Fig. 2. Scheme of watering square (A), rectangular (B, C), non-standard (D) plots with circular sprinklers

Круговые дождевальные машины отличаются большой площадью орошения, минимальными трудозатратами и простой системой водоснабжения: достаточно одного источника воды и одной насосной станции [6].

Трудности вызывает работа круговых систем на полях со сложным рельефом. На участках с большим перепадом высоты в процессе работы нередко происходит опрокидывание дождевальных машин. Нужно также учесть, что при проходе больших уклонов возрастают усилия на центральную опору машины. Следовательно, стенки трубы должны быть утолщенными, и чем больше перепад высоты, тем больше понадобится утолщенных труб в конструкции установки. Соответственно увеличится материалоемкость, как следствие, вес конструкции. Это неминуемо отразится на выборе мощности насосов в сторону увеличения, а также толщины стенки трубопровода из полимерных материалов меньшего веса и не подверженных коррозии, значит увеличится стоимость всего комплекта оборудования.

Для эксплуатации круговой установки должна быть подготовлена инфраструктура: проложены трубы из пластика, залита бетонная основа для монтажа центральной пирамиды машины, оборудована насосная станция [7]. Важным фактором является обеспечение электроэнергией. При наличии источника электричества рядом с полем устанавливается насосная станция с электрическими приводами. Если линии электропередач нет, то питание насосной станции обеспечивается дизель-генератором.

Преимущества: высокая степень автоматизации и надежности; минимальный сервис, достаточно одного источника воды/гидранта; большая площадь орошения – 230 га и более; работа на участках различной формы; срок эксплуатации до 20 лет; применение на полях с уклоном до 15°. **Недостатки:** высокая стоимость дождевальной машины, монтажа и необходимого для ее работы оборудования.

Фронтальная дождевальная машина представляет собой трубопровод длиной до 400 м и более на колесах, который снабжен оросителями низкого давления и перемещается поперек орошаемого участка (рис. 3).

Сфера применения фронтальных машин – участки площадью 50-100 га и более, полив прямоугольных длинных полей и полей нерегулярной формы [8]. Схемы полива показаны на рисунке 4.



Рис. 3. Широкозахватная дождевальная машина фронтального типа

Fig. 3. Wide-cut front-type sprinkler

Основная проблема применения фронтальной машины заключается в необходимости наличия для водоснабжения вдоль всего поля канала или трубопровода с гидрантами, устройство которых обходится дорого. Через каждые 50-100 м нужно вручную переключать питающую

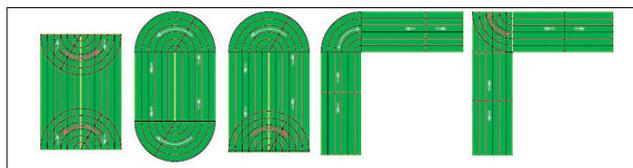


Рис. 4. Схема полива фронтальными дождевальными машинами полей нерегулярной формы

Fig. 4. Scheme of irrigation of irregularly shaped fields with frontal sprinklers

щий шланг машины из одного входа в магистральную трубу в другой. Это требует более высоких трудозатрат, чем непосредственно полив.

Рельеф поля должен быть практически ровным. Допустимый уклон участка для работы фронтальных дождевальных машин не более 5°, существенно меньший, чем для работы круговых оросителей [9]. Это связано с нагруженностью конструкции и сложностью установки. Кроме того, площадь, где оборудованы каналы или трубопроводы, выпадают из использования для выращивания культур.

Преимущества: орошение вытянутых прямоугольных полей; очень равномерное орошение; меньше расход воды. **Недостатки:** подвод воды по всей длине хода машины; затраты на водоснабжение сопоставимы или превышают стоимость машины; требуется подготовленное дорожное полотно для хода машины; работа на низких уклонах.

Дождевальная машина барабанного типа представляет собой механизированный барабан (катушку) на колесах. На барабан наматывается шланг диаметром 50-110 мм и длиной 170-500 м. К концу шланга подключена тележка со спринклером, орошающим участок. Самые большие машины этого типа способны орошать до 4 га за смену (12 ч) и до 40 га за сезон [10].

Катушка устанавливается в начале поля и подключается к насосной станции. Трактор перемещает вглубь поля тележку со спринклером, одновременно разматывается шланг. Запускается насосная станция, ко-

лесо барабана вращается, по мере продвижения тележки шланг наматывается на барабан и равномерно орошает поле (рис. 5).



Рис. 5. Дождевальная машина барабанного типа

Fig. 5. Drum type sprinkler

Барабанные машины намного дешевле, чем фронтальные или круговые, их можно перемещать трактором на разные поля. Проблемой является невозможность полива полей площадью в сотни гектаров и с интенсивным орошением. Решением в данном случае может быть использование нескольких машин одновременно, что выгодно по стоимости. **Преимущества:** доступность по цене, мобильность, удобны на небольших полях в 20-40 га. **Недостатки:** желательное ровное поле, не пригодны для работы на больших полях и с интенсивным орошением, высокая стоимость насосных станций.

Выводы. Тип дождевальных машин выбирается исходя из наиболее подходящих условий местности: размера орошаемого участка, особенностей рельефа, требуемой интенсивности и скорости орошения, финансовых возможностей хозяйства.

Для участков от 100 га рекомендуется применять круговую дождевальную машину. При достаточном бюджете и наличии длинных прямоугольных полей размером от 100 га целесообразно рассмотреть вариант фронтальной машины, но уклон поля не должен превышать 5°. Для орошения площадей 10-50 га можно выбрать машины барабанного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2018. N1 (49). С. 9-19. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19. EDN: VWFSTY.
2. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6 (264). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
3. Лобачевский Я.П., Ценц Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
4. Горобей В.П., Москалевич В.Ю., Годжаев З.А. Обоснование устройства генерации капель искусственного дождя пневмогидравлическим распылением жидкости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 53-60. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60. EDN: GAFOFM.
5. Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И. Тяговые характеристики многоопорных дождевальных машин // *Аграрный научный журнал*. 2019. N5. С. 85-89. DOI: 10.28983/asj.y2019i5pp85-89. EDN: TESQQG.
6. Хаитов Б.У. Цифровое моделирование рельефа местности для задач предварительного анализа территорий // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение*.

- ние. 2019. N3 (126). С. 64-76. DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76. EDN: BNSEZK.
7. Цугленок Н.В., Бакиров С.М., Логачёва О.В. Оптимизация диаметра трубопровода дождевальной машины кругового действия по критерию минимума энергопотребления // *Агроинженерия*. 2021. N4 (104). С. 66-71. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-66-71. EDN: UEASFD.
 8. Журавлева Л.А., Нгуен В.Т. Совершенствование конструктивных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия // *Аграрный научный журнал*. 2021. N8. С. 90-94. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp90-94. EDN: XSNTRH.
 9. Кожанов А.Л., Воеводин О.В. Осушительно-увлажнительные системы на равнинных территориях с применением фронтальных и фронтально-круговых дождевальных машин // *Мелиорация и гидротехника*. 2021. T. 11. N3. С. 95-108. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108. EDN: GZRQZT.
 10. Журавлева Л.А. Снижение воздействия ходовых систем дождевальных машин на почву // *Аграрный научный журнал*. 2020. N5. С. 82-87. DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp82-87. EDN: ZMJYFU.

REFERENCES

1. Dubenok N.N., Majer A.V. Razrabotka sistem kombinirovannogo orosheniya dlya poliva sel'skohozyaystvennykh kul'tur [Development of combined irrigation systems for watering agricultural crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2018. N1 (49). 9-19 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19. EDN: VWFSTY.
2. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitiye intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agricultural sector]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6 (264). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
3. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principy formirovaniya sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov v rasteniyevodstve [Principles of forming systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production]. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
4. Gorobey V.P., Moskalevich V.Yu., Godzhaev Z.A. Obosnovaniye ustroystva generatsii kapel' iskusstvennogo dozhdyaya pnevmogidravlicheskim raspyleniem zhidkosti [Justification of a device for generating artificial rain drops by pneumohydraulic spraying of liquid]. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 53-60 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60. EDN: GAFOFM.
5. Ryazancev A.I., Antipov A.O., Mal'ko I.V., Smirnov A.I. Tyagovyye kharakteristiki mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin [Traction characteristics of multi-support sprinkler machines]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2019. N5. 85-89 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i5pp85-89. EDN: TESQQG.
6. Haitov B.U. Tsifrovoe modelirovaniye rel'efa mestnosti dlya zadach predvaritel'nogo analiza territoriy [Digital modeling of terrain for tasks of preliminary analysis of territories]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroeniye*. 2019. N3(126). 64-76 (In Russian). DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76. EDN: BNSEZK.
7. Tsuglenok N.V., Bakirov S.M., Logachyova O.V. Optimizatsiya diametra truboprovoda dozhdeval'noy mashiny krugovogo deystviya po kriteriyu minimuma energopotrebleniya [Optimization of the pipeline diameter of a circular sprinkler according to the criterion of minimum energy consumption]. *Agroinzheneriya*. 2021. N4(104). 66-71 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-66-71. EDN: UEASFD.
8. Zhuravleva L.A., Nguen V.T. Sovershenstvovaniye konstruktivnykh parametrov shirokozakhvatnykh dozhdeval'nykh mashin krugovogo deystviya [Improving the design parameters of wide-cut circular sprinkler machines]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021. N8. 90-94 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp90-94. EDN: XSNTRH.
9. Kozhanov A.L., Voevodin O.V. Osushitel'no-uvlazhnitel'nyye sistemy na ravninnykh territoriyakh s primeneniye frontal'nykh i frontal'no-krugovykh dozhdeval'nykh mashin [Drainage and humidification systems in flat areas using frontal and frontal-circular sprinklers]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*. 2021. Vol. 11. N3. 95-108 (In Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108. EDN: GZRQZT.
10. Zhuravleva L.A. Snizheniye vozdeystviya khodovykh sistem dozhdeval'nykh mashin na pochvu [Reducing the impact of running systems of sprinkler machines on the soil]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2020. N5. 82-87 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp82-87. EDN: ZMJYFU.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Задорожный Р.Н. – научное руководство, доработка текста;
Романов И.В. – анализ литературных данных, подготовка текста
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zadorozhnyi R.N. – scientific guidance, text revision;
Romanov I.V. – analysis of literary data, preparation of text.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.07.2023
24.08.2023

УДК 631.316



EDN: AJIYTG

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-87-95

Ретроспективный анализ развития орудий для обработки задерненных почв с 1900 до 1950 год

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Анастасия Владимировна Миронова,
научный сотрудник,
e-mail: timchenko-anastasia93@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследовали особенности конструкций орудий для обработки почвы в период 1900-1950 годы. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ особенностей конструкций почвообрабатывающих орудий, применяемых на задерненных почвах в первой половине XX века. (*Материалы и методы*) Проанализировали этапы создания и усовершенствования конных и тракторных плугов. Выделены категории плугов: висячие, передковые, рамные, челночные (балансирные) и оборотные. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрены конструкции конных и первых тракторных плугов. Отмечено преимущество балансирных и оборотных орудий при вспашке без образования гребней и развальных борозд за счет поочередной работы правооборачивающих и левооборачивающих корпусов. Выявлено, что развитие широкозахватных пахотных агрегатов происходило за счет модернизации секций рамы и возможности их перестройки в трех- и четырехкорпусные варианты. Установили, что создателями первого пятикорпусного плуга с шириной захвата 35 сантиметров в 1936 году были Завод имени Октябрьской революции и Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ) – предшественник ФНАЦ ВИМ. (*Выводы*) С началом применения широкозахватных пахотных агрегатов снизилась трудоемкость и энергозатраты на процесс обработки почвы. Для более качественной заделки растительных остатков наиболее часто применяли плуги, оснащенные винтовыми отвалами.

Ключевые слова: конные плуги, передковые плуги, широкозахватный пахотный агрегат, рабочие органы, задерненные почвы, вспашка, рама, сцепка, винтовые корпусы.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Миронова А.В. Ретроспективный анализ развития орудий для обработки задерненных почв с 1900 до 1950 год // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 87-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-87-95. EDN: AJIYTG.

Retrospective Analysis of Tools for Blackened Soil Tillage from 1900 to 1950

Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Anastasia V. Mironova,
researcher,
e-mail: timchenko-anastasia93@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper explores the design characteristics of tillage tools during the period 1900-1950. (*Research purpose*) The primary objective of the paper is to undertake a retrospective analysis of the design characteristics of tillage tools used on blackened soils in the first half of the 20th century. (*Materials and methods*) The paper analyzes the stages involved in the creation and improvement of horse-drawn and tractor plows. The findings reveal the following categories of plows: suspended, front, frame, shuttle (balance), and reversible. (*Results and discussion*) The designs of horse-drawn and early tractor plows are examined. The paper highlights the benefit of balanced and reversible tools such as plowing without the formation of ridges and furrows, attributed to the alternating operation of right-handing and left-handing bodies. It is revealed that the development of wide-cut arable units occurred due to the modernization of frame sections and the possibility of their restructuring into three- and four-hull versions. It is determined that the October Revolution Plant and the All-Union Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (VIME), the predecessor to the Federal National Research Center VIM, were the pioneers behind the creation of the initial five-furrow plow in 1936, boasting a working width of 35 centimeters. (*Conclusions*) With the advent of wide-cut arable units, there was a reduction in labor intensity and energy consumption during the soil cultivation process. Plows equipped with screw moldboards were commonly employed for more effective incorporation of plant residues.

Keywords: horse-drawn plows, front plows, wide-cut plowing unit, working parts, blackened soils, plowing, frame, hitch, screw housings

For citation: Tsench Yu.S., Mironova A.V. Retrospektivnyy analiz razvitiya orudiy dlya obrabotki zadernennykh pochv s 1900 do 1950 [Retrospective analysis of tools for blackened soil tillage from 1900 to 1950]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 87-95 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-87-95. EDN: AJIYTG.

Плуг с древних времен служит незаменимым орудием основной обработки почвы. Первые плуги были деревянные и железные, при вспашке их тянули люди, со временем в этих целях стали использовать волов, мулов и лошадей. Позже появились более легкие и прочные стальные орудия. Пахарь держался за рукоятки плуга, регулировал направление и глубину борозды, одновременно мог управлять тягловыми животными. Когда появились плуги с колесной тележкой, пахарь мог сидя управлять несколькими плугами [1].

Традиционные плуги могли переворачивать почву только в одном направлении, и между бороздами образовывались гребни вспаханной почвы. С развитием тракторной техники совершенствовалось оборудование для вспашки почвы и расширялись его функциональные возможности. Современные оборотные плуги имеют двойные переворачивающиеся лемехи, позволяющие избежать образования гребней [2].

Цель исследования – провести ретроспективный анализ развития с 1900 до 1950 года конструкций почвообрабатывающих рабочих органов, применяемых для вспашки задерненных почв.

Материалы и методы. Исследуемый исторический период характеризовался применением конных и тракторных плугов. По конструктивным особенностям можно выделить следующие категории плугов: висячие, передковые, рамные, отвальные, челночные (балансирные) и оборотные.

Висячие плуги получили свое название из-за наличия одного небольшого переднего колеса. Глубина вспашки таким плугом регулируется высотой упряжного крюка. При мелкой обработке почвы упряжной крюк опускается ниже к почве, при глубокой – поднимается. Если упряжной крюк неподвижен или отсутствует вертикальная гребенка, то глубина вспашки регулировалась длиной постромок в упряжке тягловых животных. Чем короче постромки, тем мельче получалась вспашка.

Передковые конные плуги имели двухколесный передок с переставными колесами. Полевое колесо устанавливалось на одном уровне с бороздным колесом, а седло рамки передка было опущено ниже рабочего положения. В этом случае плуг погружался на половину необходимой глубины пахоты. При формировании второй борозды полевое колесо поднималось до половины нужной глубины при прежнем положении

седла, и лемех заглублялся почти на полную глубину. Для третьей и последующих борозд полевое колесо поднималось от опорной плоскости корпуса на расстояние полной глубины пахоты, седло переставлялось в нормальное положение.

Рамные конные плуги в большинстве случаев были двухкорпусные, но наращивая секции рамы, они легко перестраивались в трех- и четырехкорпусные плуги и лушильники. Рамные плуги работали как на двух колесах, так и на трех – двух бороздных и одном полевом. Заднее бороздное колесо (транспортное) было самоустанавливающееся для лучшего поворота плуга в конце пашни. Рамные орудия оснащались преимущественно дифференциальными подъемными механизмами.

Чтобы привести плуг в рабочее положение оси бороздного и полевого колес передка поворачивали рычагом и устанавливали на разной высоте. Расстояние между опорными плоскостями колес (заданная глубина вспашки) регулировалось винтовым или кулисным механизмом. По конструкции различали плуги с плоской и крючковой рамой (Сысолин П.В., Погорелый Л.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. Киев: Феникс, 2005. 264 с.).

В XIX веке, когда стали широко использовать конные плуги с развитым крылом отвала корпуса, при обработке поля возникла проблема с образованием развальных борозд. Так получалось при движении плуга с односторонним корпусом в противоположном направлении рядом с бороздой, образованной при предыдущем проходе (борозда к борозде). Для устранения развальных борозд создали оборотные и челночные (балансирные) плуги.

При движении челночным способом в работу включались поочередно правооборачивающие и левооборачивающие корпуса, соответственно при прямом и обратном проходе. Открытая борозда оставалась только на краях поля. Особенность данных плугов заключалась в том, что пласт мог отваливаться в одну сторону: вверх или вниз по склону в зависимости от состояния почвы и толщины пласта. При глубокой вспашке на тяжелых почвах предпочтение отдавали челночным орудиям, как более простым в эксплуатации, чем оборотные плуги. Недостатком челночных плугов был высоко расположенный центр тяжести, поэтому при смещении в сторону по склону плуг мог опрокинуться.

Результаты и обсуждение. В России первый висячий плуг появился в начале XIX века. Он назывался «плуг Полторацкого» в честь помещика, владевшего мастерской по изготовлению сельскохозяйственных орудий. Позже он был усовершенствован и получил название «рязанский плуг». Орудие предназначалось для обработки старопахотных земель в центральных и северо-западных районах России.

Отвал и лемех отливали из стали, а пятку – из закаленного чугуна. В дальнейшем усовершенствованная конструкция рязанского плуга применялась во всех районах Центральной России. При обработке задерненных почв на плуг устанавливали корпус с винтовым отвалом, который обеспечивал полный оборот пласта и качественную заделку навоза и пожнивных остатков (рис. 1). Из недостатков рязанского плуга следует отметить неустойчивость при движении в борозде, и качество вспашки зависело от навыка пахаря.

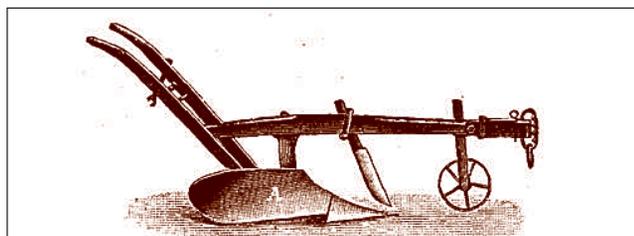
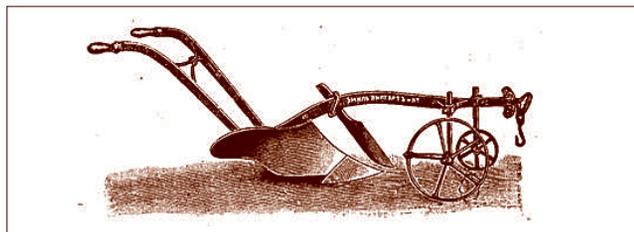


Рис. 1. Плуг с винтовым отвалом завода Рязанского товарищества
Fig. 1. Plow with a screw blade from the Ryazan Partnership Plant

Для первичной обработки почвы использовали также железные шведские или финляндские плуги. Эти же плуги с винтовыми отвалами отлично подходили для обработки лесных участков с задерненной почвой и неперегнившими корнями (рис. 2).



a



b

Рис. 2. Плуг Сухени (a) и шведский плуг с бороздным и полевым колесом (b)
Fig. 2. Sukheni plow (a) and Swedish plough with a furrow and field wheel (b)

Висячие и полувисячие конные плуги применялись преимущественно на легких и средних почвах, поскольку погружение передковых колес увеличивало сопротивление орудия. Для осенней глубокой вспашки почвы до глубины 32 мм использовали плуги Р. Сакка (рис. 3).

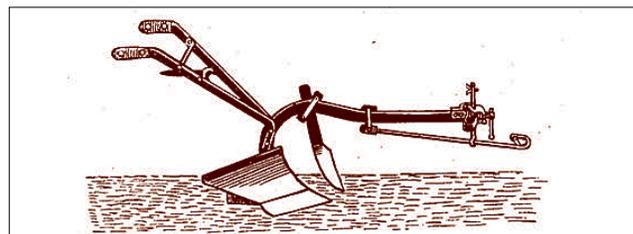


Рис. 3. Висячий плуг Р. Сакка модели SP6 без колеса, с цилиндрическим отвалом и черенковым ножом
Fig. 3. R. Sakk suspended plow SP6 without a wheel, with a cylindrical blade and a share plough

Висячий плуг ПВ-23 применялся для вспашки и междурядной обработки почвы на глубину до 15 см с отвалом культурного типа (Халанский В.М. Экскурсия за плугом. М.: Колос. 1974. 207 с.). Ширина захвата плуга составляла 23 см, в качестве тяговой силы требовалась одна или две лошади, вес плуга 34 кг, с его применением можно было вспахать 0,8 га за смену (рис. 4).

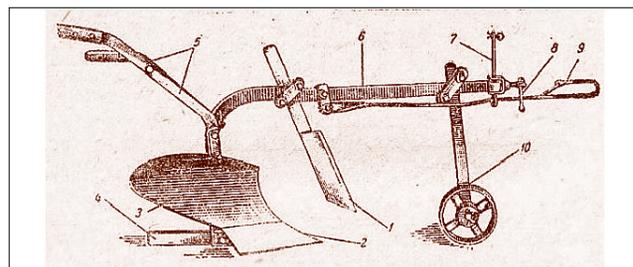


Рис. 4. Висячий плуг ПВ-23: 1 – черенковый нож; 2 – лемех; 3 – отвал; 4 – полевая доска; 5 – ручка; 6 – грядиль; 7 – регулятор глубины вспашки; 8 – регулятор ширины захвата; 9 – упряжной крюк; 10 – колесо с поддерживающей стойкой
Fig. 4. PV-23 suspended plow: 1 – share blade; 2 – plowshare; 3 – blade; 4 – field board; 5 – handle; 6 – furrow; 7 – plowing depth regulator; 8 – working width regulator; 9 – harness hook; 10 – wheel with supporting stand

Передковые плуги разделялись на легкие, средние и тяжелые. Модель ПП-28 (рис. 5) предназначалась для вспашки средних и тяжелых задерненных почв на глубину до 18 см, а при замене плужного корпуса на подкапывающую лапу такой плуг использовали на подкопке корнеплодов. Ширина захвата составляла 28 см, производительность 0,08 га/ч. Тянули плуг две лошади: одна шла по невспаханному полю, другая – по дну ранее проложенной борозды (Сельскохозяйственная энциклопедия; ред. П.П. Лобанов. М.: Сельхозгиз. 1955. Т. 4. 670 с.).

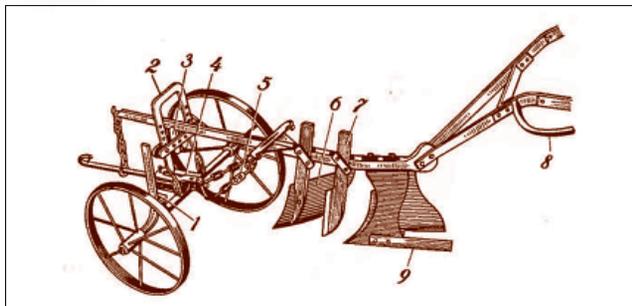


Рис. 5. Плуг передковый ПП-28: 1 – стяжная скоба; 2 – рамка передка; 3 – седло; 4 – рамка; 5 – стяжная гайка; 6 – отвал предплужника; 7 – черенковый нож; 8 – полозок; 9 – полевая доска

Fig. 5. Front plow PP-28: 1 – tie rod; 2. – front frame; 3 – saddle; 4 – frame; 5 – coupling nut; 6 – skimmer blade; 7 – cutting knife; 8 – skid; 9 – field board

В Западной Европе были широко распространены многокорпусные (от 2 до 7) плуги, двойные Z- и S-образные бороны, кольчатые культиваторы системы немецкого инженера Н.Ф. Эккерта. Для их передвижения использовали паровую машину или локомобиль, который на проволоочном канате тянул по пашне плуг, борону или культиватор (рис. 6).

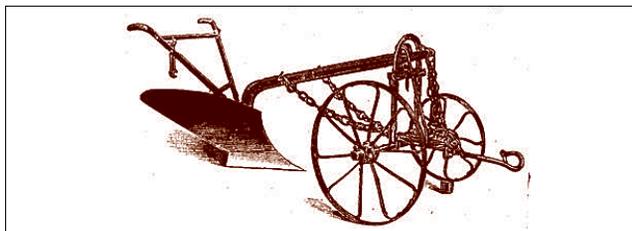


Рис. 6. Передковый плуг фабрики Н.Ф. Эккерта с полевым и бороздным колесом

Fig. 6. Eckert Ohm front plow, equipped with a field and furrow wheel

Передковый оборотный плуг Double Brabant позволял проводить гладкую вспашку почвы без свальных гребней и развальных борозд. Для обработки старопахотных и задерненных почв орудие оснащалось право- и левооборачивающими отвалами нескольких типов. Для более полного оборота пласта устанавливались дополнительные предплужники (рис. 7).

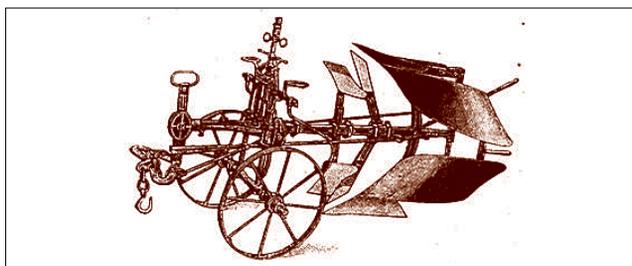


Рис. 7. Передковый оборотный плуг Double Brabant

Fig. 7. Double Brabant front reversible plow

Крючковые рамные конные плуги были наиболее широко распространены. Роль стойки корпуса плуга выполнял загнутый конец полосы рамы. Рамным двухкорпусным плугом (ПР-2-23) обрабатывали старопахотные угодья и паровые поля. При глубине вспашки почвы 18 см и более эти плуги оснащались предплужниками (Сысолин П.В., Погорелый Л.В., 2005).

Рамные рычажные плуги состояли из 1-3 корпусов, черенкового ножа у заднего корпуса, рамы, колес с осями, рычажного подъемно-установочного механизма, регулятора глубины и ширины, упряжного устройства и рукоятки. Оси бороздного и полевого колес были связаны между собой зубчатым и кулачковым секторами, что позволяло приводить в движение оба колеса одновременно от одного рычага. Оси колес поворачивали до тех пор, пока зубцы одного находились в зацеплении с зубцами другого. Когда зубцы расцеплялись, бороздное колесо устанавливалось в опорной плоскости корпусов, а полевое колесо поднималось выше на толщину пласта (рис. 8). Ширина захвата плуга составляла 46 см, производительность 0,15 га/ч, для тяги использовали 2-4 лошади (Халанский В.М., 1974).

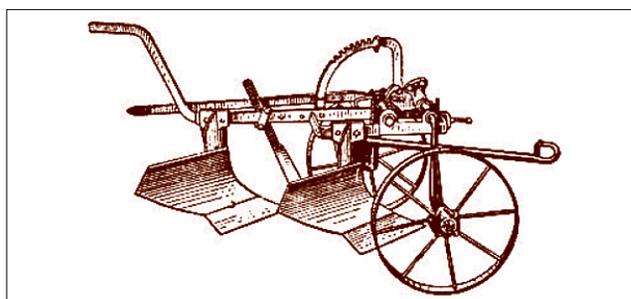


Рис. 8. Двухкорпусной рамный плуг ПР-2-23

Fig. 8. PR-2-23 double-furrow frame plow

Балансирные и оборотные плуги существенно облегчали труд при обработке почвы. Например, одно-, двух- и трехкорпусные плуги (например, модели заводов Сакка и Эбергардта) изготавливали с сиденьями. При движении плуга вдоль склона (параллельно подошве горы) пласт целиком переворачивался только в одну сторону: вниз по склону. А при обратном проходе пласт отваливался к вершине холма, и почва осыпалась в борозду. Принцип балансирного плуга, как и оборотного, заключался в поочередном включении в работу секций с право- и левооборачивающими корпусами. Это обеспечивало гладкую вспашку без образования свальных гребней и развальных борозд (рис. 9). Балансирные плуги приводились в движение при помощи лебедок с канатной тягой (Халанский В.М., 1974 с.).

По мере накопления опыта конструирования, изготовления и эксплуатации тракторных плугов почвообрабатывающие орудия постоянно совершенствовались. Недостаточное расстояние между предплуж-

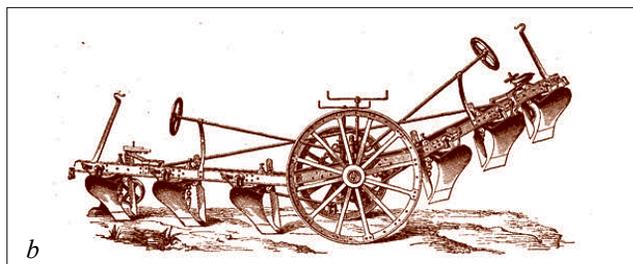
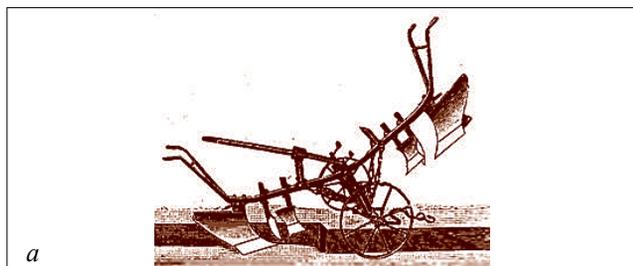


Рис. 9. Балансирный оборотный плуг завода Р. Сакка (а) и трехкорпусный балансирный плуг для гладкой вспашки (б)

Fig. 9. R. Sakk balanced reversible plow (a) and three-furrow balancing plow for smooth plowing (b)

никами и корпусами вызывало частые забивания плуга растительными остатками, особенно при распашке задерненных участков после посевов травы. Старая крючковая рама ограничивала возможности увеличить расстояние между корпусами (Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического потенциала механизации сельского хозяйства России: дис. ... д-ра. техн. наук. М.: 2021. 412 с.).

В начале 1930-х годов произошел повсеместный переход от конных орудий к тракторным почвообрабатывающим машинам. Всесоюзные испытания плугов в 1933 году выявили существенные недостатки плугов с крючковой рамой. Требовался новый подход для того, чтобы коренным образом улучшить ситуацию. Научно-исследовательские институты и конструкторские организации проводили поисковые работы по созданию плугов с плоской сборно-разборной рамой [3].

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ) была разработана серия экспериментальных тракторных плугов с плоской рамой. Плуги были оборудованы культурными корпусами шириной 30 см и храповым механизмом перевода орудия в рабочее и транспортное положения [4]. Проведенные в 1934-1935 годы испытания показали значительные преимущества экспериментальных плугов. Культурные отвалы хорошо оборачивали и крошили пласт, винтовые отвалы глубоко заделывали растительные остатки, что способствовало повышению плодородия почвы. Храповый автомат обеспечивал надежную работу механизма подъема плуга и перевода его в рабочее положение [5].

В этот же период предпринимались попытки соз-

дания широкозахватных плугов для агрегатирования с новым советским гусеничным трактором С-60. Специалисты Завода имени Октябрьской революции (г. Одесса) совместно с Всесоюзным научно-исследовательским институтом механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ, предшественник ФНАЦ ВИМ) разработали десятикорпусный (ЮК-30) и восьмикорпусный (8К-30) плуги. Они были снабжены культурными корпусами с шириной захвата 30 см, предплужниками и реечными механизмами регулирования глубины обработки почвы.

Другим направлением развития широкозахватных пахотных агрегатов было агрегатирование двух или трех четырехкорпусных плугов с мощным трактором при помощи специальной сцепки. Рациональная схема сцепки с двойным шарниром (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) разрабатывалась в ВИСХОМ. Шарнир был соединен с кронштейном, закрепленным к раме переднего плуга у заднего корпуса. Следующий за ним задний плуг соединялся с этим кронштейном. В послевоенные годы схема этой сцепки послужила исходным образцом для агрегатирования двух пятикорпусных плугов с шириной захвата корпуса 35 см [6].

В конце первого этапа конструкторских разработок на Заводе имени Октябрьской революции было освоено производство тракторных кустарниковых плугов К-56. Использование этих плугов позволяло распахивать земли, заросшие кустарником и мелкой лесной порослью высотой до 2-3 м. Плуг имел один полувинтовой корпус с шириной захвата 56 см, черенковый нож с долотообразным носком [7].

Период с 1937 по 1945 год характеризуется окончательным переходом на выпуск плугов с плоской рамой, применением культурных корпусов и предплужников, дальнейшим повышением надежности основных узлов плуга. Значительным событием стала разработка государственного стандарта на основной рабочий орган – культурный корпус, утвержденного в 1940 году. Были частично унифицированы отдельные узлы плуга.

В эти годы разработали и освоили выпуск пятикорпусных плугов с плоской рамой и культурными корпусами с шириной захвата 35 см. Увеличение расстояния между корпусами до 70 см позволило применять предплужники и проводить культурную вспашку полей, а также устранить забивания рабочих органов.

Первый пятикорпусной плуг с корпусами шириной захвата 35 см разработали инженеры Завода имени Октябрьской революции и ВИМЭ. В 1936 году был создан плуг 5К-35 с реечным автоматом и винтовыми механизмами полевого и бороздного колес. На его основе позднее разработали плуг П-5-35 (Халанский В.М., 1974).

Была введена единая система маркировки плугов, а в 1944 году утвердили государственный стандарт.

Например, первая буква «П» в марке означала «плуг», вторая – область применения или назначение плуга, цифра, отделенная от букв, – число корпусов в плуге, следующая – ширину захвата одного корпуса, последние цифры маркировки – модификацию плуга. С незначительными изменениями система маркировки действует в настоящее время. Так, марка ПЛН-5-35 означает плуг лемешный навесной, пятикорпусный с шириной захвата корпуса 35 см.

С 1945 года началось создание системы унифицированных тракторных плугов для всех классов тракторов и различных почвенно-климатических условий. Были учтены и использованы все преимущества предшествующих конструкций плугов общего назначения. Плуги этой группы (для тракторов мощностью 26-65 л.с.) изготавливались как с плоскими, так и с крючковыми рамами. Вместо плужных корпусов на плуги с плоской рамой устанавливались комплекты лущильных корпусов, смонтированных на общей раме [8].

Такой способ преобразования плугов в многолемешные лущильники (до 8 корпусов) был характерным, например, для орудий некоторых немецких фирм. На плуги устанавливали подъемные механизмы с реечным автоматом, прицепные устройства снабжали предохранительными пружинными приспособлениями. На плугах с плоской рамой, как правило, устанавливались корпуса со стойкой из литой стали. За счет обтекаемой формы стойки уменьшалась забиваемость плуга [9].

Основными создателями тракторных плугов были Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения, Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства и предприятия сельскохозяйственного машиностроения, прежде всего Завод имени Октябрьской революции. Были сконструированы плуги для отвальной, гладкой и безотвальной вспашки почв различных типов (Халанский В.М., 1974). Среди них можно выделить: пятикорпусные плуги-лущильники ПЛ-5-25, которые подходили для обработки легких и средних почв с удельным сопротивлением до $0,5 \text{ кг/см}^2$ на глубину до 18 см; трехкорпусные П-3-30 для нормальных почв (до $0,7 \text{ кг/см}^2$); трехкорпусные П-3-30-У, четырехкорпусные П-4-30 и пятикорпусные П-5-35; усиленные плуги с почвоуглубителями П-3-30-П и П-5-35-П с глубиной обработки 25-27 см (рис. 10).

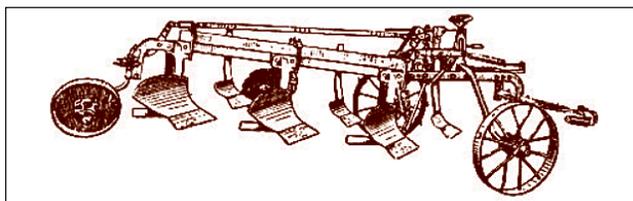


Рис. 10. Тракторный трехкорпусный плуг П-3-30

Fig. 10. P-3-30 tractor three-furrow plow

Тракторный трехкорпусный плуг П-3-30-П с почвоуглубителями имел усиленную стальную раму специального двутаврового сечения. Преимущество плуга заключается в том, что вспашка основными корпусами производится на глубину до 25 см, а дополнительное рыхление подпахотного слоя лапами – до 15 см. Плуг снабжен корпусами с цилиндродальными культурными отвалами, предплужниками, дисковым ножом на последнем корпусе, передними опорно-регулируемыми колесами со специальным механизмом, задним бороздным колесом, регулировочной тягой, обеспечивающей равномерную глубину хода корпусов (рис. 11).

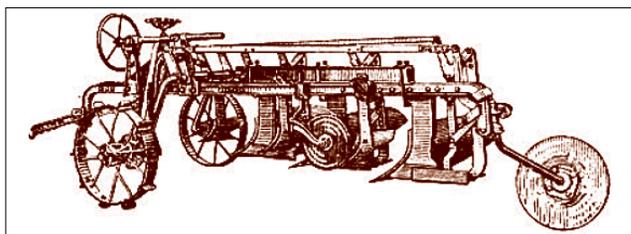


Рис. 11. Тракторный трехкорпусный плуг П-3-30-П с почвоуглубителями

Fig. 11. P-3-30-P tractor three-furrow plow with subsoilers

Основным стал прицепной плуг П-5-35, разработанный в ВИСХОМ. Установленные на нем винтовые механизмы в сочетании с храповым автоматом позволяли регулировать глубину вспашки в широких пределах и поднимать плуг в транспортное положение без участия механизатора. На базе этого плуга в 1949 году создали усовершенствованный плуг П-5-35М, получивший за свою многолетнюю безупречную службу почетное название «Труженик» (рис. 12). Расстояние между корпусами было увеличено до 800 мм, усилилась конструкция некоторых узлов. «Труженик» агрегатировался с гусеничными тракторами класса 3 – ДТ-75, ДТ-54, Т-74, Т-54 (Лобанов П.П., 1955).



Рис. 12. Тракторный пятикорпусный плуг П-5-35-М

Fig. 12. P-5-35-M tractor five-furrow plow

Улучшенный механизм заднего колеса позволял отдельно регулировать его положение как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Устойчивость в борозде увеличилась, соответственно повысилось качество работы. Грядили рамы впервые были изготовлены из специального двутаврового проката.

В конце 1940-х годов впервые в нашей стране была разработана система навесных плугов для новейших советских тракторов с двигателем мощностью 12, 24 и 36 л.с., оборудованных гидравлическими подъемниками. Для обслуживания плугов не требовался труд прицепщиков – рабочих, обслуживающих прицепное устройство.

Навесные плуги обладали и другими преимуществами по сравнению с прицепными орудиями: почти в 1,5 раза меньшая масса, простая конструкция, высокая маневренность, легкость в управлении и высокая эксплуатационная надежность.

Первый двухкорпусный навесной плуг ПН-2-30 (рис. 13) был разработан в ВИСХОМ в 1948 году. Навешивался он на трактор «Универсал». Позднее появились трех- и четырехкорпусные навесные плуги (Халанский В.М., 1974).

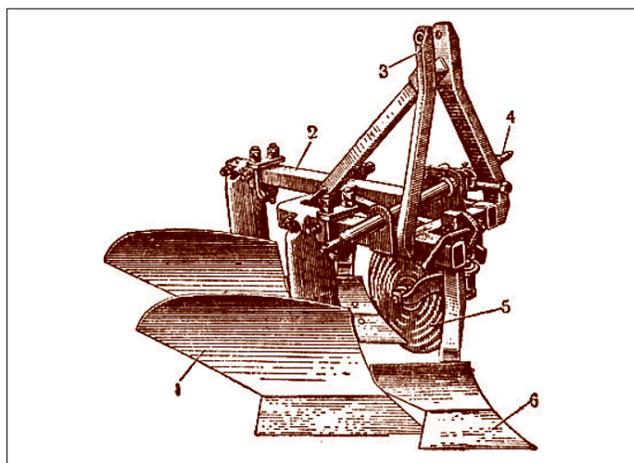


Рис. 13. Навесной двухкорпусный плуг ПН-2-30-М: 1 – корпус; 2 – рама; 3 – кронштейн (стойка) навесного устройства плуга; 4 – ось подвески плуга; 5 – дисковый нож; 6 – предплужник
Fig. 13. PN-2-30-M mounted double-furrow plow: 1 – body; 2 – frame; 3 – bracket (stand) of the plow attachment; 4 – plow suspension axis; 5 – disk knife; 6 – skimmer

Навесные системы первых гидрофицированных тракторов выпускались с моноблочным гидравлическим подъемником поршневого типа. При помощи такого гидроподъемника тракторист мог перевести плуг из транспортного в рабочее положение и обратно, а также изменить глубину вспашки. Во время работы плуг поддерживался гидроподъемником в заданном положении и не мог отклониться вверх или вниз. Поэтому такие плуги не имели опорных колес. С одной стороны, при вспашке ровного поля поддерживалась постоянная глубина пахоты. Но на неровном поле остов трактора постоянно колебался вверх-вниз, а когда нос трактора опускался, задняя часть поднималась вместе с плугом. В результате глубина вспашки получалась неравномерная [10].

Пришлось отказаться от прежних гидроподъемников и искать другое решение. Только в начале 1950-х

годов для тракторов ДТ-54 была разработана новая модификация моноблочного гидроподъемника. В рабочем положении плуг мог уже подниматься и опускаться относительно остова трактора при изменении рельефу (так называемое плавающее положение плуга). В рабочем режиме плуг опирался на опорное колесо, постановка которого по высоте с одновременной регулировкой механизмов гидроподъемника обеспечивали постоянную глубину вспашки.

В 1950-х годах с внедрением раздельно-агрегатной гидравлической системы открылись широкие перспективы для применения навесных машин. Система состояла из отдельных гидроагрегатов: насоса, бака, распределителя, силовых гидроцилиндров и т.д. в различных местах на тракторе, их соединяли между собой маслопроводами и шлангами. Появилась реальная возможность применить гидроподъемник для управления не только навесными, но и прицепными плугами. Кроме того, в тракторостроении наметился важный качественный скачок – переход на выпуск мощных тракторов, способных работать на высокой скорости 9-15 км/ч. Все это заставило конструкторов заняться пересмотром системы плугов.

Выводы

Ретроспективный анализ почвообрабатывающих рабочих органов, применяемых для обработки задерненных почв позволяет проследить эволюцию и этапы развития орудий и машин, обеспечивающих оборот пласта, и их рабочих органов.

Анализ показывает, что развитие этой группы технических средств шло в следующих направлениях:

- совершенствование геометрической формы рабочих органов, создание культурных, полувинтовых и винтовых корпусов, затем безотвальных, которые применялись в определенных почвенных условиях;
- создание и применение дополнительных рабочих органов – предплужников, черенковых и дисковых ножей позволяло улучшить качество вспашки;
- создание и применение полевых и бороздных передних и задних колес с механизмами регулировки глубины хода и перевода плуга из транспортного в рабочее положение и из рабочего в транспортное;
- создание плугов с двойным количеством рабочих органов, лево- и правооборачивающих, для обеспечения гладкой вспашки без образования свальных гребней и развальных борозд;
- увеличение числа корпусов от одного до пяти (в период до 1950-х годов) применительно к тяговым возможностям соответствующих тракторов;
- создание навесных конструкций вместо прицепных.

Развитие конструкций почвообрабатывающих рабочих органов и в целом почвообрабатывающих машин происходила параллельно с развитием конструкций тракторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. N 3(47). С. 117-123. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-117-123. EDN: XZFHML.
2. Tsench Yu.S. The main stages of agriculture mechanization in Russia. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Т. 51. N3. 69-73. EDN: KAYQWX.
3. Лобачевский Я.П., Лискин И.В., Сидоров С.А. и др. Разработка и технология изготовления почвообрабатывающих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N4. С. 3-8. EDN: WLZXPД.
4. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-1. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
5. Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А. и др. Результаты лабораторных исследований почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 41-47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. EDN: UZLCMO.
6. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Золотарев А.С. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N2. С. 10-16. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16. EDN: YYRYZT.
7. Лискин И.В., Сидоров С.А., Миронов Д.А. Обоснование геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов для тяжелых почв // *Техника и оборудование для села*. 2020. N12(282). С. 14-16. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-14-16. EDN: LOIEBO.
8. Миронов Д.А., Сидоров С.А., Лискин И.В. Прочностные и ресурсные характеристики почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N3. С. 39-43. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-3-39-43. EDN: WTCJPK.
9. Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Миронова А.В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N1. С. 41-50. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50. EDN: IEUNKO.
10. Панов А.И., Пляка В.И., Лискин И.В., Миронова А.В. Закономерности изнашивания лезвий почвообрабатывающих рабочих органов // *Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина*. 2020. N1(95). С. 19-24. DOI: 10.34677/1728-7936-2020-1-19-24. EDN: NNMKLD.

REFERENCES

1. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [To the history of agricultural machinery development]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N 3 (47). 117-123 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-117-123. EDN: XZFHML.
2. Tsench Yu.S. The main stages of agriculture mechanization in Russia. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. N3. 69-73 (In English). EDN: KAYQWX.
3. Lobachevskiy Ya.P., Liskin I.V., Sidorov S.A., et al. Razrabotka i tekhnologiya izgotovleniya pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov [Working out and production technique of soil cultivating working tools]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016. N4. 3-8 (In Russian). EDN: WLZXPД.
4. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Printsipy formirovaniya sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 4-1 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
5. Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., et al. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy pochvorezhushchikh rabochikh organov [Laboratory study results of soil-cutting operating elements]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 41-47 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. EDN: UZLCMO.
6. Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Zolotarev A.S. Vliyanie geometricheskikh i ustanovochnykh parametrov pluzhnykh rabochikh organov na agrotekhnicheskie i silovye kharakteristiki [Influence of geometric and setup parameters of the arrangement of working tools on agrotechnical and power characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 10-16 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16. EDN: YYRYZT.
7. Liskin I.V., Sidorov S.A., Mironov D.A. Obosnovanie geometricheskikh i ustanovochnykh parametrov pluzhnykh rabochikh organov dlya tyazhelykh pochv [Substantiation of geometric and setting parameters of plow working bodies for heavy soils]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N12(282). 14-16 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-14-16. EDN: LOIEBO.
8. Mironov D.A., Sidorov S.A., Liskin I.V. Prochnostnye i resursnye kharakteristiki pochvorezhushchikh rabochikh organov [Strength and durability characteristics of soil-cutting working tools]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 39-43 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-3-39-43. EDN: WTCJPK.
9. Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Osnovnyye napravleniya povysheniya resursa bystroiznashivaemykh

rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Increasing the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N1. 41-50 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50. EDN: IEUNKO.
10. Panov A.I., Plyaka V.I., Liskin I.V., Mironova A.V. Zakono-

mernosti iznashivaniya lezviy pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov [Wear patterns of soil cutting blades]. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2020. N1(95). 19-24 (In Russian). DOI: 10.34677/1728-7936-2020-1-19-24. EDN: NNMKLD.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – постановка проблемы, научное руководство, разработка теоретических предпосылок эволюции развития почвообрабатывающих рабочих органов, применяемых для обработки задерненных почв; литературный анализ, доработка текста статьи, формирование выводов;
Миронова А.В. – ретроспективный анализ почвообрабатывающих рабочих органов, применяемых для обработки задерненных почв, подбор литературных источников, визуализация, работа с текстом статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – problem statement, scientific guidance, development of theoretical prerequisites for the evolution of tillage working bodies used for blackened soil treatment; literature review, manuscript refining, formation of conclusions;
Mironova A.V. – retrospective analysis of tillage working bodies used for blackened soil treatment, selection of literary sources, visualization, working on the manuscript

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.10.2023
20.11.2023

История современной агрономической физики: вклад и значение работ А.Ф. Иоффе

Александра Федоровна Смык,
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой,
e-mail: afsmyk@mail.ru;

Елена Анатольевна Гусева,
кандидат физико-математических наук, доцент,
e-mail: forsh@list.ru;

Екатерина Александровна Форш,
кандидат физико-математических наук, доцент,
e-mail: forsh_kate@list.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что начало исследований в области агрофизики в нашей стране относится к 1930-м годам и связано с именем ученого-физика, получившего мировое признание, Абрама Федоровича Иоффе. По его инициативе в 1932 году был создан первый в мире Агрофизический научно-исследовательский институт. А.Ф. Иоффе руководил институтом с 1932 по 1942 и с 1954 по 1959 год. Эти периоды представляют особый интерес с точки зрения постановки и реализации задач института. (*Цель исследования*) Проанализировать роль А.Ф. Иоффе в развитии агрофизической науки на посту директора Агрофизического института в 1954-1959 годах. (*Материалы и методы*) Изучили архивные материалы, отчеты о научно-исследовательской деятельности Агрофизического научно-исследовательского института, публикации, проанализировали деятельность А.Ф. Иоффе с 1932 по 1959 год. Рассмотрели роль физики в разработке и совершенствовании методов отечественного сельскохозяйственного производства. Представлены результаты теоретических и прикладных исследований, выполненных под руководством А.Ф.Иоффе, по созданию измерительных приборов для применения в системе управления промышленным агропроизводством. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что в периоды руководства А.Ф. Иоффе впервые в мире была разработана методология «электронного агронома». Показано внедрение передовых достижений физики в сельское хозяйство, в частности, полупроводниковых приборов контроля физико-химических параметров почвы и внешних факторов, влияющих на жизнедеятельность сельскохозяйственных культур. (*Выводы*) Отмечена роль ученого и организатора А.Ф. Иоффе на этапе возникновения и становления отечественной агрономической физики. Отражены основные направления агрофизических работ и результаты, достигнутые под непосредственным руководством А.Ф. Иоффе. Показана роль в формировании основных направлений исследований в области агрономической физики, которые в современных условиях остаются актуальными.

Ключевые слова: агрономическая физика, Абрам Федорович Иоффе, сельскохозяйственная продукция, производство, методы контроля, управление.

■ **Для цитирования:** Смык А.Ф., Гусева Е.А., Форш Е.А. История современной агрономической физики: вклад и значение работ А.Ф. Иоффе // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 96-102. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-96-102. EDN: QZBDQS.

History of Modern Agronomy Physics: Contribution and Significance of A.F. Ioffe Works

Alexandra F. Smyk,
Dr.Sc.(Phys.-Math.),
head of department,
e-mail: afsmyk@mail.ru;

Elena A. Guseva,
Ph.D.(Phys.-Math.), associate professor,
e-mail: forsh@list.ru;

Ekaterina A. Forsh,
Ph.D.(Phys.-Math.), associate professor,
e-mail: forsh_kate@list.ru

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that research in the field of agricultural physics in this country began in the 1930s and is closely linked to the renowned physicist Abram Fedorovich Ioffe. Under his leadership, the world's first Agrophysical Research Institute

was established in 1932. A.F. Ioffe directed this institute from 1932 to 1942 and from 1954 to 1959. These periods are particularly noteworthy in terms of the scientist's contributions to formulating and executing the institute's objectives. (*Research purpose*) The paper aims to examine A.F. Ioffe's role in the development of agrophysical science during his tenure as the director of the Agrophysical Institute from 1954 to 1959. (*Materials and methods*) The research is grounded in the analysis of archival materials, reports detailing research activities of the Agrophysical Research Institute, publications, and A.F. Ioffe's engagements from 1932 to 1959. The study explores the role of physics in shaping and refining methods within domestic agricultural production. The paper presents the outcomes of theoretical and applied research conducted under the guidance of A.F. Ioffe, particularly focusing on the development of measuring instruments for integration into control systems within industrial agricultural production. (*Results and discussion*) It was revealed that during A.F. Ioffe's leadership periods, the methodology of an «electronic agronomist» was developed, marking a global pioneering achievement. The paper shows the integration of advanced physics achievements into agriculture, and highlights the use of semiconductor devices to monitor the physical and chemical parameters of the soil, as well as external factors affecting crop life. (*Conclusions*) The paper underscores the pivotal role played by the scientist and organizer A.F. Ioffe during the emergence and development of domestic agronomic physics. It points out the primary directions of agrophysical work and the results achieved directly under the leadership of A.F. Ioffe. The paper also sheds light on their contribution to developing the main research directions in the field of agronomic physics, which continue to be pertinent in modern conditions.

Keywords: agronomic physics, Abram Fedorovich Ioffe, agricultural products, production, control methods, management.

■ **For citation:** Smyk A.F., Guseva E.A., Forsh E.A. Istoriya sovremennoy agronomicheskoy fiziki: vklad i znachenie rabot A.F. Ioffe [History of modern agronomic physics: contribution and significance of A.F. Ioffe works]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 96-102 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-96-102. EDN: QZBDQS.

В XXI веке никого не удивляет использование электронных приборов и устройств в различных областях деятельности человека, в том числе высокотехнологичном сельском хозяйстве. Автоматический контроль за выращиванием растений, умные машины в земледелии, роботы, особыми сканерами фиксирующие состояние выращиваемых культур и степень зрелости урожая. Многие достижения в современном агропромышленном производстве связаны с развитием микроэлектроники, систем мониторинга влажности почвы, освещенности и других факторов окружающей среды, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур. Генезис этих работ в нашей стране связан с именем Абрама Федоровича Иоффе (1880-1960), который сыграл исключительную роль организатора отечественных исследований в области физики и создании ряда научных институтов.

Под руководством А.Ф. Иоффе сформировалась получившая мировое признание уникальная школа советских физиков. Впоследствии многие из них стали основателями своих научных направлений, возглавили академические и исследовательские институты, являясь прямо или косвенно учениками Абрама Федоровича. Под руководством А.Ф. Иоффе начинали научную деятельность будущие выдающиеся советские ученые А.П. Александров, Л.А. Арцимович, Я.Г. Дорфман, П.Л. Капица, И.К. Кикоин, П.П. Кобеко, И.В. Курчатov, П.И. Лукирский, Н.Н. Семёнов, Я.И. Френкель и многие другие.

Наибольший научный вклад А.Ф. Иоффе внес в развитие физики и техники полупроводников [1, 2]. Тем не менее, этот ученый также стал основополож-

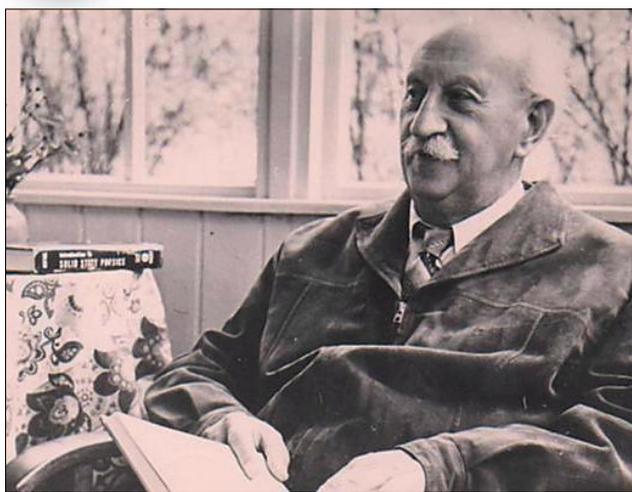
ником физической науки в агрономии, инициатором и организатором Ленинградского агрофизического института. Считается, что благодаря А.Ф. Иоффе в СССР стали применять методы и приемы физики в практике сельского хозяйства в 1920-1930-е годы [3]. Мировое признание получили две фундаментальные работы: «Физика и сельское хозяйство» (1955 г.) и «Физика для сельского хозяйства» (1959 г.). Однако в отечественной историографии уделено недостаточно внимания заслугам академика в развитии современной агрофизики и зарождении отечественных научных школ.

Цель исследования – проанализировать деятельность А.Ф. Иоффе на этапе организации и становления Агрофизического научно-исследовательского института, а также заключительного пятилетнего периода его руководства институтом с 1954 по 1959 г.

Материалы и методы. Проведен историко-научный анализ литературных источников, оригинальных работ отечественных и зарубежных авторов, архивных материалов, отчетов о деятельности Агрофизического института, монографий, научных статей.

Абрам Федорович Иоффе родился в 1880 г. в городе Ромны Полтавской губернии. По окончании Санкт-Петербургского технологического института в 1902 г. он начал свою научную деятельность в лаборатории знаменитого немецкого физика, лауреата Нобелевской премии Вильгельма Конрада Рёнтгена. Вернувшись в 1908 г. в Россию, Иоффе стал работать в Петербургском политехническом институте сначала лаборантом, а с 1913 г. – профессором физики.

Абрам Федорович писал в своей автобиографии: «В октябре 1918г. по предложению А.В. Луначарско-



Абрам Федорович Иоффе (1880-1960)
Abram Fedorovich Ioffe (1880-1960)

го основал физико-технический отдел Рентгеновского института. В декабре созвал совещание в Москве, а в январе 1919 г. – съезд физиков в Петрограде, задачей которого было поставить всю русскую физику на службу социалистическому строительству. Осенью 1919 г. организовал физико-математический факультет при Политехническом институте для подготовки таких физиков, которые могли бы решать задачи промышленности. В мае 1920 г. был избран действительным членом Российской академии наук. Дважды, в 1927-1929 и 1942-1945 гг., был ее вице-президентом. С 1929 г. выделил из Физико-технического института такие же институты для Томска, Харькова, Днепропетровска и Свердловска. В 1940 и 1945 г. дважды был награжден орденом Ленина и пятью медалями, а в 1955 г. удостоен звания Героя Социалистического Труда и награжден орденом Ленина. В 1956 г. избран почетным членом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина» (Академик А.Ф. Иоффе. Автобиография. Архив АН СССР. 1960).

Абраму Федоровичу принадлежал популярный в 1930-х годах лозунг: «Физика – это техника будущего». А.Ф. Иоффе с 1918 по 1950 г. возглавлял Физико-технический институт АН СССР. При непосредственном участии и руководстве А.Ф. Иоффе было создано 16 научных институтов, он являлся редактором нескольких журналов по физике [4].

История агрофизических исследований начинается с создания института нового типа для решения задачи применения физических явлений и законов для совершенствования методов сельскохозяйственного производства. Эту идею А.Ф. Иоффе высказал в 1931 г., а в 1932 г. был назначен директором образованного Агрофизического института (АФИ). В почти 30-летней истории АФИ можно выделить два периода, когда его возглавлял А.Ф. Иоффе: первое десятилетие после создания (1932-1942 гг.) и последние пять лет на посту руководителя (1954-1959 гг.).

Создание Агрофизического научно-исследовательского института (1932-1936 гг.)

В конце 1920-х и начале 1930-х годов в Советском Союзе проводилась широкая индустриализация. Преобразования осуществлялись по трем главным направлениям: создание новых предприятий на основе последних достижений науки и техники; коренная модернизация действующих предприятий с их переоснащением новейшим оборудованием и внедрением более совершенной системы организации труда; проведение ряда практических мероприятий в целях максимального использования наличного оборудования и переустройства производства (Постановление ЦК ВКП(б) от 24 марта 1927 г. «Вопросы рационализации производства»).

В 1930-1931 гг. А.Ф. Иоффе активно занялся организацией агрофизических исследований в стенах возглавляемого им в то время Физико-технического института АН СССР. Это было в духе времени больших изменений, когда в системе Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина (ВАСХНИЛ) образовывались новые научно-исследовательские учреждения. Идею А.Ф. Иоффе организовать институт нового направления – физико-агрономического поддержал президент ВАСХНИЛ академик Н.И. Вавилов. Решением Коллегии Наркомата земледелия СССР от 5 января 1932 г. и согласно протоколу заседания Президиума ВАСХНИЛ от 7 января 1932 г. такой институт был создан в Ленинграде, а 16 июля 1934 г. Постановлением СНК СССР переименован в Агрофизический научно-исследовательский институт (АФИ).

По научной специализации АФИ был первым и единственным в мире. Термин «агрофизика» предложил А.Ф. Иоффе для описания взаимосвязей в почве, особенно переноса массы и энергии в системе «почва-растение-атмосфера». А.Ф. Иоффе писал: «Существует разительный контраст между участием физики в прогрессе промышленного производства и в сельском хозяйстве. Все внимание физиков отдано промышленности. Агрономы не знают физики – она практически отсутствует в системе агротехнического образования, а физики не интересуются агротехникой... Физическая теория агротехники еще только зарождается» [5].

Задача агрофизики, полагал А.Ф. Иоффе, – это активное воздействие на физические факторы, определяющие развитие растений. Проблема разделялась на две части: воздействие на среду, в которой произрастает растение, т.е. почву и атмосферу, и на само растение, управление его жизнедеятельностью с целью выработки агрономических управляющих решений (Иоффе А.Ф. Физика на службе агрономии // Красная газета. 1932 г., 7 декабря).

Через два года после основания Физико-агрономического института А.Ф. Иоффе пишет: «... мы не

пошли по линии оценки эмпирических приемов земледелия, а поставили целью разработку активных методов и, следовательно, принципиально новых приемов воздействия на почву, растение и животное с целью повышения их продуктивности».

В области оказания активного воздействия на почву, как среду жизнедеятельности растений, руководитель АФИ определил три задачи: создание искусственной структуры почв, регулирование их теплового режима и воздействие на водный баланс пахотного слоя (Иоффе А.Ф., Колясев Ф.Е. *Сельское хозяйство и физика* // Известия. 1934 г., 16 ноября). Важной стороной таких исследований являлось составление математической модели, позволяющей точно прогнозировать ночные температуры и утренние заморозки. Создание полупроводниковых приборов давало возможность автоматически включать орошение. По мысли Иоффе, используя показания измерительных приборов в разных точках поля, ученые в состоянии проследить взаимосвязь света, тепла, влажности и реакции растений на внешние условия.

Исследования в первые годы работы АФИ выполняли известные ученые, ученики и соратники Абрама Федоровича. Так, Федор Ефремович Колясев, доктор сельскохозяйственных наук, обосновал теорию дифференциальной влажности почв и приемы обработки почвы. Александр Владимирович Куртнер, доктор физико-математических наук, создал метод измерения теплофизических характеристик почвы, предложил физический и математический анализ энергетики почвенного слоя. Владимир Павлович Мальчевский, доктор сельскохозяйственных наук, разработал методы стимуляции растений искусственными источниками света. Абрам Филиппович Чудновский изучал вопросы теплофизики почв, стал автором базовых идей в учении о тепло- и массообмене в системе «почва-растение-приземный воздух». Исаак Борисович Ревут, доктор сельскохозяйственных наук, разрабатывал основы рациональных систем обработки почв. Следует отметить, что с 1929 по 1933 г. в Физико-техническом институте проводились биофизические исследования. В них принимал участие молодой аспирант Глеб Михайлович Франк. Он развивал идею П.П. Лазарева и А.Ф. Иоффе о создании другой новой науки – биофизики, в 1935 г. получил степень доктора биологических наук по этой специальности, звание академика и стал одним из основоположников применения физических методов в сельскохозяйственных исследованиях.

Через четыре года после основания Агрофизического научно-исследовательского института уже были получены практические результаты: создание искусственных почвенных структур, битумной эмульсии для закрепления песков, прозрачной полимерной пленки для защищенного грунта, разработка метода стимуляции искусственным светом семян и рассады

[6]. Появились новые методики в агрономии и биологии: определения влажности почвы, измерения лучеиспускания; созданы новые измерительные приборы – радиационный термометр, ультрафиолетовые фотометры, нефелометр, генератор ионов, пиранометр, специальные источники света и фильтры для растений [7]. Исследовательская деятельность коллектива АФИ, основанная на достижениях физики, химии, математики и биологии, была нацелена на решение актуальных для сельского хозяйства проблем.

Агрофизический научно-исследовательский институт (1954-1959 гг.)

Через 25 лет после основания Агрофизического института Абрам Федорович Иоффе напишет: «Слабо оборудованный институт с небольшим числом сотрудников, сочетающих агротехнические и физические знания, не мог развернуть проблему агрофизики во всем ее объеме. Тем не менее, мне не раз придется сослаться на опыт Агрофизического института для иллюстрации того, что физика может сделать для сельского хозяйства» [5].

За пятилетний период с 1954 по 1959 г. под руководством Абрама Федоровича были сформулированы и поэтапно выполнялись важнейшие комплексные задачи создания и совершенствования научной базы сельского хозяйства с целью повышения эффективности аграрной отрасли:

- приспособление светового, теплового и водного режимов к потребностям выращиваемой культуры, почве и климату района;
- изучение процессов, связанных с сельскохозяйственными работами;
- изучение процессов в почве и растениях с помощью методов и приемов физики в целях перевода исследований агроэкологических систем на уровень количественных обобщений;
- круглогодичное выращивание овощей в закрытом грунте, при искусственном освещении;
- создание физических приборов для измерения важнейших показателей производства сельскохозяйственной продукции;
- автоматический контроль условий хранения и транспортировки агропродукции.

Для практического внедрения инноваций, в том числе повседневной работы с измерительными приборами, требовалось внести изменения в систему подготовки новых квалифицированных специалистов. В программу образования было включено изучение основ физики. Издавались учебники по физике для сельскохозяйственных вузов, была организована подготовка кадров ученых-агрофизиков. На кафедрах физики аграрных вузов тематика исследовательской работы была ориентирована на решение проблем сельского хозяйства.

Формировались все новые направления: физика почвы, биофизика растений, методы воздействия на

микроклимат, связь испарения влаги и потребности растений в воде с тепловым балансом солнечной энергии, определение нормы полива в засушливых условиях. Новыми приложениями физических процессов стало использование радиоактивного излучения, изотопов, ядерной энергии, полупроводников для изучения и измерения процессов в почве, предохранение продуктов от порчи, снабжение хозяйств электроэнергией, радиофикация села. Большое значение придавалось использованию электронно-счетных машин для учета и обработки измерений. А.Ф. Иоффе писал: «Важнейшая задача агрофизики – перевести правила агрономической науки на язык математических формул, превратить их в законы природы и научиться учитывать всю их совокупность» [5].

Академик А.Ф. Иоффе активно изучал возможности внедрения физических методов и технических средств для агрономических исследований и контроля [8, 9]. Развивалось направление по созданию различных измерительных приборов на базе нового класса твердых веществ – полупроводников. С 1930-х годов собственная научная работа А.Ф. Иоффе была сосредоточена на физике полупроводников [10]. Полупроводники стали использовать в различных электронных устройствах в 1940-е годы.

Требовалось не только обосновать принцип, создать, но организовать производство, обеспечить снабжение зональных и опытных станций рациональными надежными измерительными приборами.

*Приборы, разработанные
Агрофизическим научно-исследовательским
институтом в 1932-1959 гг.*

*Контроль влажности почвы
(предложен проф. Ф.Е. Колясевым)*



Принцип измерения основан на косвенном методе определения влажности по уплотняемости почвы. По калибровочному графику зависимости уплотняемости почвы от влажности стало возможным без высушивания и взвешивания получить представление о влажности почвы с точностью 1-2%. Было выпущено 600 таких приборов, которые прошли успешные испытания в научных и опытных учреждениях.

*Электрометрическое измерение температуры
на глубине и поверхности почвы и температуры воздуха*

Прибор на основе полупроводников позволил измерять температуру почвы в диапазоне от низких отрицательных до любых положительных значений на расстоянии за сотни метров от центральной измерительной станции. Для измерения температуры поверхности почвы разработан «термопаук», дающий возможность определять усредненную температуру на площади порядка 1 м^2 .



*Измерение влажности воздуха
(электронсихрометр)*

Определяет влажность воздуха по разности сопротивлений влажного и сухого термистора при обеспечении постоянных условий испарения с помощью электровентилятора. Прибор предназначен для определения влажности в слоях воздуха малой толщины, например, в точке роста растений (существовавшие до этого времени приборы измеряли влажность только в больших объемах воздуха). Наблюдатель может находиться на значительном расстоянии от регистрирующего агрегата.



*Полупроводниковый электротермометр
(разработчики Б.М. Шлимович, Ф.М. Гречко)*

Прибор состоит из рукоятки, полого металлического цилиндра со шкалой глубины погружения в почву. Цилиндр заканчивается колпачком, в который вмонтировано термосопротивление. Термометр соединен проводом с измерительным устройством. Цилиндр погружают в почву на нужную глубину. На измерение затрачивается 2-4 минуты, и за полтора часа можно получить сведения о температуре в 40-50 точках поля и сделать вывод о своевременности начала сева.



*Многоточечный полупроводниковый термосигнализатор
(разработчик Б.М. Шлимович)*

Для измерения температуры, сигнализации ее отклонений от кондиционных условий, поддержания температуры в требуемых пределах созданы одно- и многоточечные (в частности, 25-точечный) электротермосигнализаторы и автоматические регуляторы. Датчиками служат полупроводниковые сопротивления. Показания могут передаваться дистанционно на большие расстояния от места измерения.



*Полупроводниковый электротермометр
для контроля условий хранения зерна*

Термосопротивление из полупроводникового материала в латунном защитном чехле расположено на конце трехметровой разборной трубки. Прибор позволяет проводить точные и надежные измерения, а также непрерывную запись температуры зерна, отслеживая ее возможное повышение и предотвращая процессы порчи.

Контроль условий процесса сушки зерна

Дистанционное измерение температуры в разных частях зерносушильной установки осуществляется с помощью многоточечных полупроводниковых термометров с возможностью сигнализации и терморегуляции процесса.

Штанговые термометры

Это стационарные приборы, расположенные в любой точке поля. Измерители вдоль штанги установлены в почве по одной вертикали до глубины 1-2 м. Диапазон измерения температуры от -20 до $+40$ °С с точностью $0,2$ °С. Провода от полупроводниковых термосопротивлений, смонтированных вдоль штанги, подведены к месту проведения измерений. Это может быть любое помещение за сотни или даже тысячи метров от места установки самих штанг. Измерительный агрегат состоит из неравновесного моста и распределительного устройства с переключателем на 10 позиций.

Микроэлектротермометр для измерения температуры поверхностей (конструкция В.Г. Карманова)

Термометр в виде шарика из полупроводникового материала диаметром $0,5$ мм, расположенного на конце стеклянного капилляра. Внутри капилляра размещены провода. Измерительный агрегат построен по схеме неравновесного моста. Для определения температуры достаточно прикоснуться шариком датчика к любой поверхности. Измерение занимает несколько секунд, показания легко записать с помощью самопишущего гальванометра или электронного потенциометра. Таким образом, стал возможен непрерывный длительный (в течение месяцев) контроль температуры поверхности листьев растений, кожи животных и т.д.

Это только небольшая часть измерительных приборов и методов, разработанных коллективом Агрофизического научно-исследовательского института с момента основания до 1959 г., когда его директором и научным руководителем оставался Абрам Федорович Иоффе. Был создан целый арсенал приборов учета и контроля качества сельскохозяйственных работ, управления процессами развития растений и организации агротехнических процессов. Эта дало мощный импульс развитию приборостроения, систем сбора и хранения информации, применению полупроводников, изотопных и радиационных методов в приборостроении, компьютеризированной выработки управляющих решений.

Агрофизическим институтом активно внедрялись методы точного, быстрого, дистанционного измерения физических, химических, биологических параметров, влияющих на конечный результат. Непрерывная регистрация и передача результатов на электронно-счетное оборудование позволили резко сократить штаты обслуживающего персонала, что дало боль-

шой экономический эффект. Основы современной методологии ведения сельского хозяйства была разработана впервые в мире еще в первой половине XX века под руководством академика А.Ф. Иоффе.

Выводы. Агрономическая физика как самостоятельная наука начала формироваться в конце XVIII века. Агрономические исследования до того периода ограничивались полевыми наблюдениями без постановки физического эксперимента и математического анализа. По инициативе А.Ф. Иоффе впервые в нашей стране развернулись широкие исследования по применению знаний современной физики в сельском хозяйстве. В последующие годы вырабатывалась специфическая для агрофизики методология научных исследований.

А.Ф. Иоффе первым в мире выдвинул методологию «электронного агронома». Суть ее заключалась в том, чтобы рассматривать сообщество растений на поле или в теплице, среду их обитания и целенаправленную деятельность человека как единую агроэкологическую систему. Такую систему можно описать на языке математики и обосновать выбор оптимальных агротехнических решений, анализируя количественные оценки поведения системы в различных условиях. В этом случае появляется возможность прогнозировать размер урожая в конкретных почвенно-климатических условиях на заданном участке земли, оценить необходимые ресурсы, подобрать способы эффективного управления формированием урожая, предсказать изменения в почве в результате применения той или иной технологии. Так было положено начало перехода от экспериментально-описательной сельскохозяйственной науки к выявлению количественных закономерностей и теоретических обобщений, созданы предпосылки для практической реализации качественно новой методологии управления агротехнологиями [11].

Академик А.Ф. Иоффе не только предложил новую концепцию промышленного производства сельскохозяйственной продукции, сформулировал важнейшие задачи, фундаментальные основы новой междисциплинарной науки на стыке физики и агрономии, но непосредственно сам, возглавив первый в мире институт, на протяжении десятилетий занимался воплощением и развитием новой науки. За не очень большой период с момента основания Агрофизического научно-исследовательского института были достигнуты прорыв в теоретической и практической разработке методов, средств, технологий, управленческих подходов в производстве сельскохозяйственной продукции и существенные экономические результаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арцимович Л.А. Воспоминания об А.Ф. Иоффе. Физики о себе. Л.: Наука, 1990.
2. Кикоин И.К., Соминский М.С. Абрам Федорович Иоффе (к восьмидесятилетию со дня рождения). УФН. 1960. Т. LXXII. Вып. 2. С. 307-321.
3. Grundas S., Stepniewski A. Advances in agrophysical research. Edited by S. Grundas. InTech. 2013. 410 (In English). DOI: 10.5772/3341.

4. Научно-организационная деятельность академика А.Ф. Иоффе: сборник документов. Арх. АН СССР. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе. М.: Наука, 1980.
5. Иоффе А.Ф. Советская агрофизика. В кн. Материалы юбилейной сессии ВАСХНИЛ, посвященной 40-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции. М.: 1958. С. 207-211.
6. Федоров Д.А., Макаревский Н.И., Кислов В.П., Доброхотова С.И. Применение пленки для замены стекла в парниковом хозяйстве. Сборник статей. Под ред. акад. А.Ф. Иоффе. М.: Изд-во Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина, 1936.
7. Иоффе А.Ф. Отчет о работе Физико-технического института. УФН. 1936. Т. XVI. Вып. 7. С. 847-871.
8. Иоффе А.Ф. Физика и сельское хозяйство. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
9. Иоффе А.Ф., Ревут И.Б. Физика на службе сельского хозяйства. М.: Изд-во «Знание». 1959.
10. Иоффе А.Ф. Электронные полупроводники. М.: Л.: Гос. техн.-теорет. изд-во. 1933.
11. Усков И.Б., Якушев В.П., Чесноков Ю.В. Агрофизический институт: междисциплинарные и многопрофильные исследования для практики земледелия и растениеводства (1932-2022). // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. N3. С. 403-424. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.403rus.

REFERENCES

1. Artsimovich L.A. Vospominaniya ob A.F. Ioffe [Memories of A.F. Ioffe]. Fiziki o sebe. Leningrad: Nauka. 1990 (In Russian).
2. Kikoin I.K., Sominskiy M.S. Abram Fedorovich Ioffe (k vosmidesyatiletiyu so dnya rozhdeniya) [Abram Fedorovich Ioffe (on his eightieth birthday)]. UFN. 1960. Vol. LXXII. 2. 307-321 (In Russian).
3. Grundas S., Stepniewski A. Advances in agrophysical research. Edited by S. Grundas. InTech. 2013. 410 (In English). DOI: 10.5772/3341.
4. Nauchno-organizatsionnaya deyatel'nost' akademika A.F. Ioffe: sbornik dokumentov [Scientific and organizational activities of Academician A.F. Ioffe: collection of documents]. Arkh. AN SSSR. Fiziko-tekhnicheskii institut im. A.F. Ioffe. Moscow: Nauka. 1980 (In Russian).
5. Ioffe A.F. Sovetskaya agrofizika [Soviet agrophysics]. V kn. Materialy yubileynoy sessii VASKhNIL, posvyashchennoy 40-y godovshchine Velikoy Oktyabr'skoy sotsialisticheskoy revolyutsii. Moscow: 1958. 207-211 (In Russian).
6. Fedorov D.A., Makarevskiy N.I., Kislov V.P., Dobrokhotova S.I. Primenenie plenki dlya zameny stekla v parnikovom khozyaystve. Sbornik statey pod red. akad. A.F. Ioffe [The use of film to replace glass in greenhouse farming: Collection of articles. ed. acad. A.F. Ioffe]. Moscow: Izd-vo Vsesoyuz. akad. s.-kh. Nauk im. V.I. Lenina. 1936 (In Russian).
7. Ioffe A.F. Otchet o rabote Fiziko-tekhnicheskogo institute [Report on the work of the Physico-Technical Institute]. UFN. 1936. Vol. XVI. 7. 847-871 (In Russian).
8. Ioffe A.F. Fizika i selskoye khozyaystvo [Physics and agriculture]. Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1955 (In Russian).
9. Ioffe A.F., Revut I.B. Fizika na sluzhbe sel'skogo khozyaystva [Physics in the service of agriculture]. Moscow: Izd-vo «Znanie». 1959 (In Russian).
10. Ioffe A.F. Elektronnyye poluprovodniki [Electronic semiconductors]. Moscow; Leningrad: Gos. tekhn.-teoret. izd-vo. 1933 (In Russian).
11. Uskov I.B., Yakushev V.P., Chesnokov Yu.V. Agrofizicheskii institut: mezhdistsiplinarnye i mnogoprofil'nye issledovaniya dlya praktiki zemledeliya i rasteniyevodstva (1932-2022). [Agrophysical Institute: interdisciplinary and multidisciplinary research for agricultural practice and crop production (1932-2022)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2022. Vol. 57. N3. 403-424 (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.403rus.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Смык А.Ф. – научное руководство, постановка задачи исследования;
Гусева Е.А. – сбор материалов и его систематизация;
Форш Е.А. – обработка данных.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Smyk A.F. – scientific guidance, formulating the research problem
Guseva E.A. – collection and systematization of the material
Forsh E.A. – data processing.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

05.10.2023
20.11.2023

УДК 631.3



EDN: ASWCKN

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-103-108

Становление и развитие научной школы профессора А.П. Иофинова

Салават Гумерович Мударисов^{1,2},
член-корреспондент Академии наук Республики
Башкортостан, доктор технических наук, профессор,
e-mail: salavam@gmail.com;

Рим Рашитович Камалетдинов¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: krr53@mail.ru

¹Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация;

²Академия наук Республики Башкортостан, г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. Отмечена роль профессора Августа Павловича Иофина в исследовании вопросов управления качеством и моделирования технологических процессов сельскохозяйственных машин. Научные идеи, заложенные А.П. Иофиновым, остаются до сих пор актуальными и востребованными. Их развитие и реализация способствуют улучшению работы сельскохозяйственной техники и повышению эффективности аграрной отрасли в целом. (*Цель исследования*) Обобщить историко-научный материал о деятельности профессора А.П. Иофинова и создании под его руководством на базе кафедры сельскохозяйственных машин Башкирского государственного аграрного университета научной школы. (*Материалы и методы*) Становление и развитие научной школы рассмотрены с использованием проблемно-хронологического метода. Научные проблемы, выдвигаемые профессором А.П. Иофиновым, представлены в последовательности их развития от гипотезы до практической апробации и обобщения в научных работах. (*Результаты и обсуждение*). Представлена история становления и развития научной школы на кафедре сельскохозяйственных машин Башкирского государственного аграрного университета под руководством профессора А.П. Иофинова. Созданная научная школа выполняла исследования по важным научным направлениям – статистической динамике сельскохозяйственных машин, управлению качеством работы сельскохозяйственной техники, моделированию технологических процессов, прогнозированию урожайности. В настоящее время эти направления получают новое развитие, формулируются новые задачи с учетом современных тенденций и достижений науки и техники. (*Выводы*) Работы профессора А.П. Иофинова и его научной школы привели к созданию новых алгоритмов и компьютерных программ автоматизации процессов управления сельскохозяйственной техникой и прогнозирования урожайности, цифровых двойников сельскохозяйственных машин на основе моделей технологических процессов. Это способствует более точному и эффективному использованию ресурсов, улучшению качества работы и повышению производительности в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сельское хозяйство, механизация, сельскохозяйственные машины, профессор А.П. Иофинов, научная школа, история развития, Башкирский государственный аграрный университет.

■ Для цитирования: Мударисов С.Г., Камалетдинов Р.Р. Становление и развитие научной школы профессора А.П. Иофинова // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 103-108. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-103-108. EDN: ASWCKN.

Tracing the Evolution and Legacy of Professor A.P. Iofinov's Scientific School

Salavat G. Mudarisov^{1,2},
corresponding member of the Academy of Sciences
Bashkortostan, Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: salavam@gmail.com;

Rim R. Kamaletdinov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: krr53@mail.ru

¹Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation;

²Academy of Sciences of Bashkortostan, Ufa, Russian Federation

Abstract. The scientific ideas and contribution of Professor A.P. Iofinov to the development of agricultural science remain relevant in our time. The paper emphasizes Professor August Pavlovich Iofinov's pivotal role in the exploration of quality management and the modeling of technological processes for agricultural machines. The scientific concepts introduced by A.P. Iofinov continue to hold significance in contemporary times. Their development and application contribute to improving the operational capabilities of agricultural machinery and bolstering the overall efficiency of the agricultural industry. (*Research purpose*) The study seeks

to consolidate historical and scientific materials about the activities of professor A.P. Iofinov and the creation of a scientific school under his leadership at the Department of Agricultural Machinery of the Bashkir State Agrarian University. (*Materials and methods*) The establishment and evolution of the scientific school are examined through the problem-chronological method. Scientific issues articulated by Professor A.P. Iofinov, are presented chronological sequence of their progression, moving from hypothesis to practical testing and eventual generalization in scientific works. (*Results and discussion*) The paper chronicles the founding and progression of the scientific school affiliated with the Department of Agricultural Machines at the Bashkir State Agrarian University, guided by Professor A.P. Iofinov. The established scientific school delved into significant research domains, including the statistical dynamics of agricultural machinery, quality management of agricultural machinery, modeling of technological processes, and yield forecasting. At present, these research areas are experiencing renewed development, with new tasks being formulated to align with contemporary trends and the latest achievements in science and technology. (*Conclusions*) Professor A.P. Iofinov's works and his scientific school have given rise to the development of new algorithms and computer programs essential for automating the control processes of agricultural machinery and forecasting yields. Furthermore, they have played a crucial role in the creation of digital twins for agricultural machines, based on models of technological processes. This advancement significantly enhances the precision and efficiency in resource utilization, improves the quality of work, and boosts productivity in agriculture.

Keywords: agriculture, mechanization, agricultural machines, professor A.P. Iofinov, scientific school, history of development, Bashkir State Agrarian University.

■ **For citation:** Mudarisov S.G., Kamaletdinov R.R. Stanovlenie i razvitie nauchnoy shkoly professora A.P. Iofinova [Tracing the evolution and legacy of Professor A.P. Iofinov's scientific school]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 103-108 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-103-108. EDN: ASWCKN.

Башкирский государственный аграрный университет (до 1993 г. Башкирский сельскохозяйственный институт), образованный в 1930 г. в Уфе, является вторым по своему возрасту и значимости высшим учебным заведением Республики Башкортостан. Год спустя после его основания, учитывая важность вопросов механизации в сельском хозяйстве, на агрономическом факультете института открылась кафедра механизации, которая является предшественником кафедры сельскохозяйственных машин, в настоящее время – кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства.

Организатором и первым заведующим кафедры в 1931-1936 гг. был инженер Г.А. Марковский, позднее он преподавал на кафедрах математики и прикладной механики. В 1936-1938 гг. кафедру механизации возглавил В.Л. Жуковский, а в 1938 г. – профессор Захарий Михайлович Яшин, один из первых советских специалистов в области земледельческой механики. В 1950 г. З.М. Яшин занял должность декана вновь созданного в институте факультета – механизации сельского хозяйства. В 1951 г. кафедра механизации преобразовалась в кафедру сельскохозяйственных машин. В 1961-1962 гг. кафедрой заведовал инженер Ю.В. Поздняков. В 1962 г. его сменил Август Павлович Иофинов.

Профессор доктор технических наук А.П. Иофинов на протяжении 17 лет, в 1962-1981 и 1986-1994 гг. возглавлял кафедру сельскохозяйственных машин, достойно продолжая дело своих знаменитых предшественников на этом посту и привлекая новое поколение ученых и исследователей. Так со временем на кафедре возникла своя научная школа.

Цель исследования. Обобщить историко-научный материал о становлении научной школы профессора А.П. Иофинова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании использован проблемно-хронологический метод. Научные проблемы и гипотезы, выдвигаемые профессором А.П. Иофиновым, представлены в последовательности их развития от идеи до научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и обобщения результатов в материалах диссертаций и в публикациях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Август Павлович Иофинов родился 12 августа 1932 г. в Ленинграде. В 1950 г. окончил с отличием физико-математическую школу и поступил в Ленинградский институт механизации сельского хозяйства (с 1954 г. Ленинградский СХИ). После учебы в 1955 г. был направлен в Кустанайскую область Казахской ССР на должность главного инженера машинно-технической станции. В 1958 г. поступил в аспирантуру при Ленинградском СХИ на кафедру сельскохозяйственных машин. Научным руководителем А.П. Иофинова был известный советский ученый в области инженерии и механики сельскохозяйственной техники Абрам Бенцианович Лурье.

В 1961 г. Август Павлович был приглашен в Башкирский СХИ вначале на должность доцента, а с 1962 г. – заведующего кафедры сельскохозяйственных машин. Августу Павловичу удалось развернуть активную научно-исследовательскую работу, в том числе по договорной тематике.

В 1962 г. в Ленинградском СХИ А.П. Иофин защитил диссертацию «Выбор и обоснование параметров системы автоматического регулирования навесных плугов» на соискание ученой степени кандидата тех-

нических наук. На кафедре начала функционировать собственная аспирантура.

В 1963 г. институт переехал в новый корпус, были выделены для специализированных лабораторий более просторные помещения по разным группам машин [1]. Для оснащения кафедры приобретались измерительные приборы, вычислительная техника, лабораторное оборудование. Основной парк учебной техники располагался в машинном зале, который использовался совместно с кафедрой «Тракторы и автомобили». Занятия проводились по нескольким курсам: механизация сельского хозяйства, сельскохозяйственные машины, механизация животноводства, автоматика и новой дисциплине – патентоведению с основами научных исследований. Теснота лабораторий заставила искать возможности расширения. Так, под аудитории были приспособлены две прилегающие рекреации, силами преподавателей перекрыли второй этаж машинного зала, уже позже на территории института появился бокс и открытая площадка для машин. Вскоре из состава кафедры выделилась кафедра механизации животноводческих ферм. После ввода в эксплуатацию второго учебного корпуса института кафедра сельскохозяйственных машин стала занимать 1200 м². На этих площадях был организован исследовательский центр для аспирантов и построен почвенный канал.



*Почвенный канал кафедры сельскохозяйственных машин в 1970 году и в настоящее время
Tillage canal of the Agricultural Machinery Department in 1970 and at present*

Появились специализированные лаборатории автоматизации, машин послеуборочной обработки зерна, почвообрабатывающей, посевной, кормо- и зерноуборочной техники, химической защиты растений, компьютерный класс. Лаборатория пополнялась образцами новой сельскохозяйственной техники, на базе которых сотрудники кафедры создавали действующие лабораторные установки.

Научно-исследовательская работа на кафедре под руководством профессора А.П. Иофинова проводилась по общей тематике «Статистическое моделирование и автоматизация рабочих процессов сельскохозяйственных машин». Тематика была очень востребованной, заключались хозяйственные договоры с колхозами и совхозами, промышленными предприятиями, научно-исследовательскими институтами. Самыми крупными были проекты с Днепропетровским комбайновым заводом по совершенствованию систем автовождения свеклоуборочных комбайнов (1969 г.); с ВНИИ зернового хозяйства (г. Целиноград) по совершенствованию посевных машин для почвозащитной технологии (1974 г.); с ВНИИ строительства трубопроводов (Москва) по рекультивации земель, нарушенных при сооружении трубопроводов большого диаметра (1984 г.).

Параллельно продолжались исследования по широкому кругу теоретических и практических вопросов: совершенствование систем управления почвообрабатывающими машинами, свекловичными и стерневыми сеялками, машинами для возделывания и уборки картофеля, сепараторами для сортировки и очистки зерна [2-4]. На их основе впоследствии сформировалась общая теория оперативного управления качеством работы мобильными технологическими операциями. А тема стала основой докторской диссертации А.П. Иофинова «Технологическая эффективность функционирования мобильных сельскохозяйственных машин: на примере возделывания сахарной свеклы», защита прошла в 1984 г. в Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (в настоящее время Южно-Уральский государственный аграрный университет). Во всех проектах и исследованиях Август Павлович непосредственно участвовал как разработчик и руководитель кафедры.

Целенаправленная научно-исследовательская работа по широкому спектру знаний позволила профессору А.П. Иофинову привлечь новых учеников, единомышленников, из которых постепенно оформилась научная школа «Исследование рабочих процессов сельскохозяйственных машин, статической динамики и моделирования механизированных технологических процессов, управление качеством работы». Широкий кругозор, глубокие знания профессора позволяли связывать идеи и концепции, открытия в разных отраслях науки, понимать сложные проблемы,

выдвигать оригинальные гипотезы, нестандартные и неожиданные подходы к решению научных проблем, но всегда основанные на анализе и логическом мышлении.

Так, при аналитическом описании процесса сепарации двухкомпонентных смесей А.П. Иофинов предложил информационную модель, в основе которой объекты – зерновые или картофельные сепараторы рассматривались в виде устройств каналов связи, а процесс сепарации как передача сообщений при наличии помех. При этом степень изменения (сепарации) состава оценивалась как уменьшение энтропии исходной смеси. Предложенный уровень абстракции позволил на основе энтропийных критериев оценивать работу системы независимо от ее физической природы [5].

Другая идея – использовать гидродинамическую модель почвенной среды для математического описания и моделирования процесса обработки почвы (Иофинов А.П., Вахитов Н.У., Лоренц С.В. Возможности гидродинамической гипотезы обработки почвы, 1989). На начальных этапах исследований почва моделировалась в виде идеальной жидкости, а в последующем – в виде сжимаемой жидкости (Мударисов С.Г. Совершенствование конструкции и управление качеством работы почвообрабатывающих дисковых орудий в целях повышения их эффективности; дисс. ... канд. техн. наук, 1996). Представление почвы в виде вязкой жидкой среды основывалось на том, что при достаточно большом объеме деформируемой зоны почвы поля напряжений, построенные методами механики сплошных сред и методами, в которых среда представлена системой из твердых дискретных тел, дают равнозначные решения [6]. Граничные условия при решении задачи взаимодействия рабочих органов с почвой на основе гидродинамической модели являются описанием геометрических и конструктивных параметров рабочих органов, а начальные условия – описанием технологических параметров обработки почвы и свойств среды, в результате которого появляется возможность моделировать процесс обработки почвы и создавать цифровые двойники машин.

С конца 1970-х годов профессор А.П. Иофинов большое внимание уделял управлению качеством технологических процессов [7, 8]. Была выдвинута рабочая гипотеза о достижении необходимого качества операции путем использования новых рабочих органов, конструктивные параметры которых позволяют изменять степень воздействия на среду и обеспечивать управление процессом работы. Для почвообрабатывающих машин целью было обеспечение заданного уровня показателей качества за счет совершенствования и обоснования параметров рабочих органов машин на основе моделирования их взаимодействия с почвой с учетом изменяющихся ее свойств (Мударисов С.Г. Повышение качества обработки почвы

путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса; дисс. ... д-ра техн. наук, 2007).

Для обоснования принципов управления качеством выполнения технологических операций исследовалось влияние регулировок машин на продуктивность возделываемых культур в разных почвенно-климатических зонах Башкирии. Опыты заключались в анализе характеристик формирования урожая при сознательном нарушении технологических регулировок (Иофинов А.П. Обоснование нормативов качества механизированных работ в растениеводстве, 1989). В результате были установлены устойчивые корреляционные связи качества выполнения операций с урожайностью, а также агротехнические допуски на качество работы отдельных машин. В последующем это дало возможность сформировать новое направление исследований в рамках научной школы А.П. Иофинова – прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур.

В конечном итоге была разработана компьютерная программа *Agroteka* для имитации процесса развития растений на поле в вегетационный период, воздействия внешних условий (дождь, засуха, развитие сорняков, вредителей и т.п.) и технологических операций на урожай (Иофинов А.П., Хангильдин Э.В. Прогнозирование изменений урожайности в зависимости от качества выполнения технологических операций, 1995). Отличительной особенностью алгоритма прогнозирования урожайности была возможность изменять внешние факторы в процессе вегетации сельскохозяйственной культуры.

С 1980-х годов на кафедре сельскохозяйственных машин совместно с кафедрой информатики и основ научных исследований, которую Август Павлович возглавлял в 1994-1999 гг., удалось разработать единую аналитическую модель и компьютерную программу взаимосвязи биологических фаз развития растений, качества работы отдельных машин и показателей их устойчивости с конечным результатом – урожаем [9].

«Руками» отлаженного А.П. Иофиновым научно-исследовательского механизма были аспиранты



Профессор А.П. Иофинов (в центре) работает над очередным изобретением

Professor A.P. Iofinov (center) is working on another invention



Р.Р. Камалетдинов, С.В. Лоренц, Н.У. Вахитов, С.Г. Мударисов, И.Ф. Хабибуллин, М.М. Ямалетдинов, разработчиком алгоритмов и компьютерных программ – Э.В. Хангильдин, а мозгом и вдохновителем – сам профессор.

А.П. Иофинов автор более 150 научных и учебно-методических работ, 15 изобретений. Кандидатами наук стали 14 его учеников, и один защитил докторскую диссертацию. Специалистам в России, странах СНГ и за рубежом А.П. Иофинов известен как один из первых исследователей систем автоматического управления сельскохозяйственными машинами и основателей нового для земледельческой механики направления – статистической динамики и моделирования механизированных технологических процессов.

А.П. Иофинов многие годы руководил методическим советом факультета механизации сельского хозяйства, участвовал в работе научно-технических советов, в том числе по линии Министерства сельского хозяйства и Академии наук Республики Башкортостан. Неординарность подхода к проблеме вызывали широкий интерес в научном сообществе. В целом А.П. Иофинов стал творческим и интеллектуальным лидером своего времени в области земледельческой механики. Он организовывал академические дискуссии в рамках конференций, семинары с преподавателями, аспирантами и студентами.

Научная школа, основателем которой признан А.П. Иофинов, явилась центром притяжения для талантливых и амбициозных исследователей. Аспиранты, руководителем которых был А.П. Иофинов, не только помогали профессору в исследованиях, но привносили свежие идеи и подходы. В пополнение списка достижений внесли свой вклад М.А. Абаимов, Н.Н. Таипов, А.С. Самигуллин, А.В. Савельев, Х.Х. Ахмеров, М.А. Давлетшин, Ю.Г. Байрамгулов, Р.Р. Камалетдинов, Н.У. Вахитов, С.Г. Мударисов, М.И. Матюшков, З.И. Тувалев, Е.А. Веселова, И.Ф. Хабибуллин, Р.Ф. Зиязетдинов, А.К. Дмитриенко и другие специалисты.

Научно-инновационная деятельность кафедры продолжает развиваться. В наши дни научной школой, созданной профессором А.П. Иофиновым, руководит профессор, доктор технических наук С.Г. Мударисов. Поддерживая традиции, в научную работу вовлекаются аспиранты и докторанты. Успешный пример сотрудничества разных поколений способствует преемственности и развитию научных идей и подходов ос-

нователя школы. По результатам выполненных исследований защищены 7 диссертаций на соискание степени доктора наук и 30 диссертаций кандидата наук.

Многие научные идеи А.П. Иофинова опережали свое время. Техническая и программная реализация подходов по управлению качеством работы сельскохозяйственных машин становится возможным в современных условиях. Моделирование процессов с применением современных прикладных компьютерных программ инженерного расчета позволяет создавать цифровые двойники сельскохозяйственных машин, ускорить проектирования и постановку на производство новой техники. Искусственный интеллект и машинное обучение в управлении качеством работы сельскохозяйственной техники позволяет автоматически прогнозировать и предотвращать неисправности, повысить производительность и надежность машин, оптимизировать параметры работы.

В эпоху Индустрии 4.0, основой которой является широкое внедрение киберфизических систем и искусственного интеллекта в сферы производства, управления, многие стороны жизни, научные идеи, заложенные профессором Августом Павловичем Иофиновым с середины 20-го века, как прежде актуальны и востребованы.

Выводы. Профессор А.П. Иофинов 27 лет возглавлял кафедру сельскохозяйственных машин. За период его руководства сформировалась научная школа «Исследование рабочих процессов сельскохозяйственных машин, статической динамики и моделирования механизированных технологических процессов, управление качеством работы».

Август Павлович Иофинов внес значительный вклад в развитие сельскохозяйственной техники и технологий, как один из первых специалистов по изучению вопросов управления качеством выполнения технологических процессов. Исследования и разработки профессора А.П. Иофинова и его школы привели к созданию новых алгоритмов и компьютерных программ автоматизированного управления технологическими процессами, техникой в сельском хозяйстве.

Научная школа, созданная профессором А.П. Иофиновым, в наши дни возглавляемая профессором С.Г. Мударисовым, как успешный пример преемственности в сотрудничестве между руководителем и учениками, способствует формированию нового поколения ученых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкирский государственный аграрный университет: история в воспоминаниях; сост. Габитов И.И., Зиязетдинов Р.М., Фархшатов М.Н., Фазрахманов И.И. Уфа: Башкирский ГАУ, 2020. 220 с. EDN: QLBIYJ.
2. Иофинов А.П. Структура моделей системы управления качеством технологических процессов сельскохозяйственных машин // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1980. N3. С. 25-27.
3. Иофинов А.П., Камалетдинов Р.Р., Лоренц С.В. Работа сепарирующих органов картофелеуборочных машин в зависимости от степени уплотнения почвы // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1989. N9. С. 58-59.
4. Иофинов А.П., Самигуллин А.С. Исследование процесса сепарации методами теории информации // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1976. N11. С. 13.

5. Камалетдинов Р.Р. Роль информационных моделей сепарации А.П. Иофинова в развитии объектно-ориентированных системных представлений // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2013. N17. С. 16-18. EDN: RWKBVD.
6. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. N7. С. 27-30. EDN: ROJUVN.
7. Иофинов А.П. Математические модели в задачах управления качеством технологических процессов // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1978. N7. С. 3-8.
8. Иофинов А.П. Структура моделей системы управления качеством технологических процессов сельскохозяйственных машин // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1980. N3. С. 25-27.
9. Проблемы управления качеством работы сельскохозяйственной техники; гл. ред. Иофинов А.П. Уфа: Гилем, 1999. 158 с. EDN: TGNBLJ.

REFERENCES

1. Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet: istoriya v vospominaniyakh; sost. Gabitov I.I., Ziyazetdinov R.M., Farkhshatov M.N., Farkhshatov I.I. [Bashkir State Agrarian University: history in memoirs]. Ufa: Bashkirskiy GAU. 2020. 220 (In Russian). EDN: QLBIYJ.
2. Iofinov A.P. Struktura modeley system upravleniya kachestvom tekhnologicheskikh protsessov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Structure of models for the quality management of technological processes of agricultural machines]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 1980. N3. 25-27 (In Russian).
3. Iofinov A.P., Kamaletdinov R.R., Lorents S.V. Rabota separiruyushchikh organov kartofeleuborochnykh mashin v zavisimosti ot stepeni uplotneniya pochvy [Operation of the separating organs of potato harvesting machines depending on the degree of soil compaction]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1989. N9. 58-59 (In Russian).
4. Iofinov A.P., Samigullin A.S. Issledovanie protsessa separatsii metodami teorii informatsii [Study of the separation process using information theory methods]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaystva*. 1976. N11. 13 (In Russian).
5. Kamaletdinov R.R. Rol' informatsionnykh modeley separatsii A.P. Iofinova v razvitii obektno-orientirovannykh sistemnykh predstavleniy [The role of information models of separation by A.P. Iofinov in the development of object-oriented system representations]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2013. N17. 16-18 (In Russian). EDN: RWKBVD.
6. Mudarisov S.G. Modelirovanie protsessa vzaimodeystviya rabochikh organov s pochvoy [Modeling the process of interaction of working bodies with soil]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2005. N7. 27-30. EDN: ROJUVN.
7. Iofinov A.P. Matematicheskie modeli v zadachakh upravleniya kachestvom tekhnologicheskikh protsessov [Mathematical models in problems of quality management of technological processes]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaystva*. 1978. N7. 3-8 (In Russian).
8. Iofinov A.P. Struktura modeley system upravleniya kachestvom tekhnologicheskikh protsessov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Structure of models for the quality management system of agricultural machine technological processes]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 1980. N3. 25-27 (In Russian).
9. Iofinov A.P. Problemy upravleniya kachestvom raboty sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Problems of agricultural machinery quality management]. Ufa: Gilem. 1999. 158 (In Russian). EDN: TGNBLJ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Мударисов С.Г. – научное руководство, методология, поиск и анализ литературы, обсуждение и анализ полученных результатов, подготовка текста статьи, формирование общих выводов;

Камалетдинов Р.Р. – концептуализация, обсуждение и анализ полученных результатов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Mudarisov S.G. – scientific guidance, methodology, literature search and analysis, discussions on the results obtained, and contribution to the manuscript preparation, formation of general conclusions;

Kamaletdinov R.R. – conceptualization, discussions and analyzes of the obtained results.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

03.10.2023
17.11.2023

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 4.1.5 / 4.3.1 / 4.3.2 / 5.6.6.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS, RSCI*. Электронные версии журнала размещаются на сайтах Российской универсальной научной электронной библиотеки, Российской государственной библиотеки и Российской книжной палаты.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, объемом 15-20 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны на русском и английском языках и иметь ссылку в тексте.

Простые внутрстрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул *Microsoft Word* без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не следует. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия, имя и отчество автора(ов) полностью;
- e-mail автора(ов), контактный телефон;
- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;

- ученая степень, ученое звание автора(ов);
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследования;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Библиографический список (не менее 20 источников из них 3-4 иностранных, входящих в базу данных *Web of Science*, за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

Нельзя использовать в реферате аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:

- название статьи;
- фамилию, имя, отчество (полностью);
- ученая степень, ученое звание, место работы автора (ов);
- реферат и ключевые слова;
- библиографический список.

Машинный перевод недопустим!

В конце рукописи необходимо указать фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. Приводится на русском и английском языках.

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Подписку на журнал
можно оформить в агентстве «Урал-Пресс»
на сайте: www.ural-press.ru,
а также в редакции журнала.

Индекс издания **66060**

КОНТАКТЫ:

Тел.: 8 (499) 174-88-11, 8 (499) 174-89-01
www.vimsmit.com e-mail: smit@vim.ru