

ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 18 N 1 2024

Vol. 18 N 1 2024

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL



1 2024





НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Основан в 2007 году

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,
Г.В. Быковская,
Л.А. Горелова,
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

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 25.03.2024
Формат 60х90/8. Объем 14,25 печ.л.
Тираж 500 экз
Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2024

Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайллов

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 на-
учно-организационной работе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская
Федерация, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=550644

Михаил Никитичевич Ерохин

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

Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, главный научный со-
трудник 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 на-
правления 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 про-
блем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

Даврон Рустамович Норчаев

доктор технических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механизации садовод-
ства и овощеводства» Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства Респуб-
лики Узбекистан, г. Карши, Кашкадарьинская область, Республика Узбекистан

Юлия Сергеевна Ценц

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 Инсти-
тут истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Российская
Федерация, https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=124382



SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL
Founded in 2007

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. Chernov

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 25.03.2024.

The format is 60 x 90/8. The volume is 14.25 print's sheets. The circulation is 500 copies.

Printed by FSBSI FSAC VIM.



РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 300 ЛЕТ

Черноиванов В.И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России	4
Попов В.Д., Брюханов А.Ю. История агроинженерной науки в Санкт-Петербурге . . .	13
Ерохин М.Н., Ценч Ю.С., Скороходов Д.М. Вклад академика В.Н. Болтинского в агроинженерную науку и образование (120-летию со дня рождения ученого посвящается) . . .	21
Пой Ю.А., Кирсанов В.В., Мамедова Р.А., Кирсанов С.В. Развитие средств механизации и автоматизации в молочном животноводстве	30
Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Академик Д.Н. Прянишников и отечественная школа агрохимиков	38

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Иванов Н.М., Левин А.М., Федоренко И.Я. Моделирование динамики вибрационного измельчителя кормового зерна	46
Пастухов А.Г., Добрицкий А.А., Бахареv Д.Н., Вольвак С.Ф. Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки	52
Сазонов Н.В., Мосяков М.А., Тетерин В.С., Панферов Н.С., Годяева М.М., Трунов М.С. Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве	60
Амантаев М.А., Кравченко Р.И., Золотухин Е.А., Телемис Т.С., Табулденов А.Н. Исследование процесса бороздообразования ротационными рабочими органами с активным приводом	68
Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля в системе органического земледелия	74
Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация финишной обработки трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна	81
Магдин А.Г., Припадчев А.Д., Горбунов А.А., Домовецких Д.В. Резервуар на БПЛА для обработки сельскохозяйствен- ных угодий жидкими агрохимикатами	89
Мирзаев М.А., Смирнов И.Г. Система позиционирования рабочих органов при дифференцированном опрыскивании растений . . .	96
Юрочка С.С., Довлатов И.М., Хакимов А.Р., Комков И.В., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Работоспособность элементов макета системы оценки коров в создаваемых условиях внешней среды	101
Барагунов А.Б. Адаптированные технические средства и технология молочного животноводства в условиях альпийских пастбищ	108

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES IS 300 YEARS OLD

Chernoivanov V.I. The history of agricultural machinery repair system in Russia	4
Popov V.D., Briukhanov A.Yu. History of agroengineering science in Saint Petersburg . .	13
Erokhin M.N., Tsench Yu.S., Skorokhodov D.M. Academician V.N. Boltinsky's legacy in agricultural engineering education and science (commemorating the 120th anniversary of the birth)	21
Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Mamedova R.A., Kirsanov S.V. Evolution of mechanization and automation in dairy farming	30
Tsench Yu.S., Sidirov I.V. Academician D. N. Pryanishnikov and the Russian national research school of agrochemistry	38

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

Ivanov N.M., Levin A.M., Fedorenko I.Ya. Simulating dynamics of feed grain vibration grinder	46
Pastukhov A.G., Dobritskiy A.A., Bakharev D.N., Volvak S.F. Exploring physico-mechanical properties of pumpkin seeds in the context of drying processes	52
Sazonov N.V., Mosyakov M.A., Teterin V.S., Panferov N.S., Godyaeva M.M., Trunov M.S. Quality metrics of automated machinery in potato plant cultivation for breeding and seed production	60
Amantaev M.A., Kravchenko R.I., Zolotukhin Ye.A., Tolemish T.S., Tabuldenov A.N. Investigation of furrow formation by rotary tillage tools with an active drive	68
Zakharov A.M., Murzaev E.A. Impact of inter-row cultivation on potato tuber yields in organic farming	74
Nemenko A.V., Nikitin M.M. Optimizing the finishing treatment of potato harvester transmission shafts	81
Magdin A.G., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A., Domovetskikh D.V. UAV-mounted tank for processing agricultural land with liquid agrochemicals	89
Mirzaev M.A., Smirnov I.G. Positioning system of working bodies in differential spraying of plants	96
Yurochka S.S., Dovlatov I.M., Khakimov A.R., Komkov I.V., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O. Performance of cow evaluation system elements in simulated environmental conditions	101
Baragunov A. B. Adapted machinery and technology for Alpine pasture dairy farming	108

EDN: XENHQI

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12



Научная статья

УДК 629. 3014.2



История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России

Вячеслав Иванович Черноиванов,
доктор технических наук, академик РАН,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: smit@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показана объективная потребность в техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственных машин. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ становления и развития системы ремонта машин от начала выпуска первого советского трактора до разработки и изготовления современной техники и оборудования. (*Материалы и методы*) Рассмотрены и проанализированы публикации разных периодов, посвященные проблемам организации централизованной системы ремонта и обслуживания техники и оборудования на всех этапах развития сельскохозяйственного производства. (*Результаты и обсуждение*). Отражена динамика выпуска тракторов в начале 1930-х годов и замещения зарубежных закупок на внутреннем рынке отечественными сельскохозяйственными машинами, отмечены этапы формирования собственной системы ремонтного обслуживания. Отмечены особенности создания мастерских для ремонта при машинных технологических станциях (1928-1957 годы) и организации ремонтной базы на предприятиях Всесоюзного объединения «Союзсельхозтехника» (1961-1990 годы). Дан анализ совершенствования методов ремонта от индивидуального до поточного. Показана роль академической и отраслевой науки в обеспечении ремонтных предприятий технологической документацией, оборудованием и оснасткой, а также в методическом сопровождении технического обслуживания и ремонтных мероприятий на уровне централизованной системы. (*Выводы*) Приведена информация о исследовательской и конструкторской деятельности специализированных лабораторий, отделов Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства ВИМ (1930-1961 годы). Отмечены достижения ученых и специалистов в области теории износа машин, создании типовой технологии ремонта. Отмечена роль Государственного союзного научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин ГОСНИТИ (1963-2013 годы) в формировании ремонтно-технологической базы оборудования. Рассмотрены возможности и перспективы развития системы сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники на современном этапе.

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, агрегаты, износ, ремонт, технология, типовая технология, ремонтные мастерские.

■ **Для цитирования:** Черноиванов В.И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12. EDN: XENHQI.

Scientific article

The History of Agricultural Machinery Repair System in Russia

Vyacheslav I. Chernoiivanov,
Dr.Ph.(Eng.), member of the RAS, leading researcher,
e-mail: smit@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the imperative for the maintenance and repair of agricultural machinery. (*Research purpose*) The research aims to undertake a retrospective analysis illuminating the evolution and establishment of the machine repair system. This analysis spans from the production of the inaugural Soviet tractor to the advancement and production of contemporary machinery and equipment. (*Materials and methods*) The paper analyses publications from different periods focused on the challenges surrounding the establishment of a centralized system for the repair and maintenance of machinery and equipment across all stages of agricultural production development. (*Results and discussion*). The paper sheds the light on the dynamics of tractor production in the early 1930s, detailing the transition from reliance on imports to the utilization of domestic agricultural machinery in the

local market, alongside the phases involved in establishing a domestic repair service system. Furthermore, it explores the evolution of repair workshops at machinery technological stations from 1928 to 1957 and outlines the structuring of a repair depot within the enterprises of the All-Union Association «Soyuzselkhoztekhnika» between 1961 and 1990. Additionally, the paper delves into the analysis of repair strategies, ranging from individualized to in-line approaches. The paper underscores the pivotal role of academic and industrial science in equipping repair enterprises with essential technological documentation, repair equipment, and supplementary materials. It also highlights their contribution to the development of methodological support for maintenance and repair operations at the level of a centralized system. (*Conclusions*) The paper presents information on the research and design activities undertaken by specialized laboratories and departments within the All-Union Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization VIM from 1930 to 1961. It acknowledges the significant contributions of scientists and experts in the domains of machine wear theory and the standardization of repair technologies. Furthermore, the paper emphasizes the critical influence of the State Union Scientific Research Technological Institute for the Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machines GOSNITI between 1963 and 2013 on establishing a robust machinery repair and maintenance system. It outlines the potential and future directions for the evolution of a service system for agricultural machinery.

Keywords: agricultural machinery, wear, repair, technology, standard technology, repair and maintenance shops.

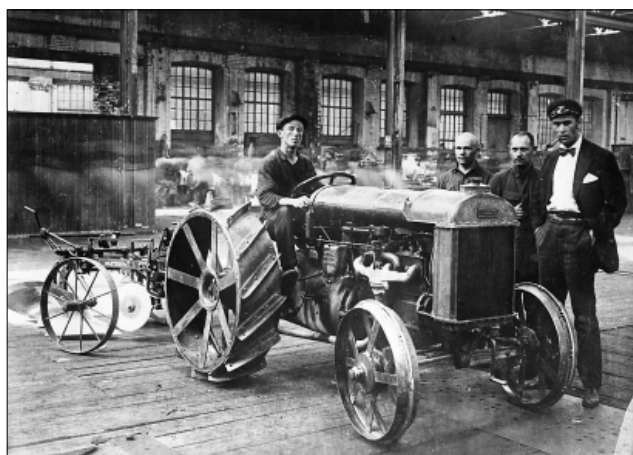
■ For citation: Chernoi Ivanov V.I. The history of agricultural machinery repair system in Russia. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12. EDN: XENHQI.

Ремонт является объективной необходимостью для поддержания работоспособности машин и любого технического объекта, а также составляет неотъемлемую часть их эксплуатации. Как этап жизненного цикла машин и оборудования ремонт преследует цель восстановления функциональных свойств машин и технических средств путем устранения неисправностей, а также замены расходных элементов [1]. Ремонтная база представляет собой комплекс предприятий, обеспечивающих выполнение всего объема работ по поддержанию в исправном состоянии и обслуживанию техники.

Цель исследования: ретроспективный обзор становления и развития в России системы ремонта сельскохозяйственных машин от первых тракторов до современной техники. Определение роли научных организаций, ведущих ученых в создании ремонтной базы, повышении технико-экономической эффективности ремонтных работ.

Материалы и методы. Рассмотрены и проанализированы научные публикации разных лет, посвященные ремонту машин, технических средств и оборудования для сельскохозяйственного производства.

Результаты и обсуждение. До появления тракторов на сельскохозяйственных работах преимущественно использовалась конная тяга, которую в начале XX века постепенно стали заменять механизированными орудиями для обработки почвы. До начала организации в нашей стране отрасли сельскохозяйственного машиностроения использовалась техника иностранного производства. В 1920-1922 гг. были закуплены за рубежом около 1000 тракторов, в 1924-1925 г. – более 1500, в 1926-1927 гг. – более 5000, в 1929-1930 гг. – 23600. С 1924 г. в России стали выпускать свои тракторы в Ленинграде на заводе «Красный Путиловец» по лицензии компании «Форд».



Трактор «Фордзон-Путиловец»
Tractor model «Fordzon-Putilovets»

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ РЕМОННО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ В РОССИИ

С увеличением выпуска техники возникли проблемы с ее поддержанием в исправном состоянии. Было решено закупать ремонтно-техническое оборудование за рубежом и строить мастерские. Так в 1925 г. Всероссийский союз сельскохозяйственной кооперации «Сельсосоюз» дал заказ на закупку за границей пяти комплексов оборудования для ремонта тракторов. К 1929 г. в России насчитывалось около 25 тысяч тракторов. Годовым планом предусматривался ремонт примерно 9 тысяч тракторов. К этому времени у земельных органов были 22 ремонтные мастерские, у кооперативов – 180, а у частных лиц – 70 тысяч простейших кузниц, где выполнялись основные ремонтные операции.

Начало созданию системы машинно-тракторных станций было положено в 1927 г. МТС стали ведущим звеном колхозно-совхозного производства, сыграли существенную роль в организации

самих производителей и их материально-технической базы. Основная задача МТС состояла в оказании на договорной основе технической помощи сельским труженикам при вспашке земли, посеве и уборке зерновых. Ремонт и обслуживание техники выполнял персонал, сформированный в МТС в первую очередь из трактористов и прицепщиков.

В 1930-е годы продолжалось строительство мастерских и ремонтных предприятий. К 1940 г. в стране действовали до 50 заводов по ремонту двигателей первых гусеничных тракторов СХТЗ, СХТЗ-НАТИ. Однако ремонтные процессы выполнялись на низком техническом уровне. В 1934 г. специальной комиссией Наркомзема СССР были разработаны классификации видов ремонта, их содержание, средние нормативы трудозатрат.

В годы Великой Отечественной войны и первое послевоенное время строительство мастерских было прекращено. В феврале 1947 г. состоялся Пленум ЦК ВКП(б), принявший Постановление «О мерах подъема сельского хозяйства в послевоенный период». На пленуме был решен ряд вопросов о создании системы ремонтных предприятий. В этот период были разработаны проекты типовых мастерских.

Новый этап в развитии инженерного и производственного обеспечения сельского хозяйства начался с созданием в феврале 1961 г. Всесоюзного объединения «Союзсельхозтехника», ставшего посредником между колхозами и совхозами, с одной стороны, и промышленностью – с другой. Объединение занималось снабжением техникой, запасными частями, минеральными удобрениями, организацией ремонта и использования машин. Установились строго хозрасчетные отношения с сельскими предприятиями без вмешательства в их производственную деятельность.

По состоянию на 01.01.1983 г. в системе В/О «Союзсельхозтехника» функционировали 337 ремонтных заводов, 1998 мастерских общего назначения и 1713 специализированных, 135 предприятий по изготовлению ремонтно-технического оборудования. Объемы выпуска товарной продукции выросли почти в 5 раз. Ремонт полнокомплектных машин увеличился в 1,7 раза, двигателей – в 2 раза. На В/О «Сельхозтехника» была возложена ответственность за состояние техники для выполнения весенних посевных работ. Уровень готовности техники в этот период приближался к 100%.

После распада Советского Союза функции В/О «Союзсельхозтехника» были переданы Министерству сельского хозяйства России. В годы реформирования экономики значительно снизились поставки новых машин, был взят курс на зарубежные закупки. Ремонтно-обслуживающие предприятия закрывались или перепрофилировались: к 2020 г. из 2731 официально зарегистрированных действова-

ло всего 691 (25,3%). В результате технику стали вынуждены ремонтировать ее владельцы в мастерских, где зачастую нет необходимых условий и оснащения. Для обеспечения надежности парка сельхозмашин в настоящее время некоторые исследователи предлагают перейти на фирменный метод технического сервиса, когда главная роль отводится компании-изготовителю или лицензированному ремонтному предприятию [2].

РОЛЬ АКАДЕМИЧЕСКОЙ И ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ

Обслуживание и ремонт импортной сельхозтехники вначале вызывали большие трудности. Отсутствовали документация, правила и инструкции по сборке машин. В совхозах появились механики от американских фирм, они для устранения неисправностей рекомендовали в основном заменять отказавшие узлы или детали на новые.

Наши пытливые механизаторы искали способы исправления отказов, использования изношенных деталей. На помощь пришли исследователи, которые давали свои советы по ремонту тракторов и машин. В 1925-1927 гг. подобные статьи выходили в журналах «Коллективист», «Машина и деревня». Первыми авторами публикаций были С.Ф. Грант, С.И. Роленко, А.Р. Либерман, П.Т. Монов, Д.А. Климов, А.Н. Остапов, В.П. Ремер, Г.И. Доброхотов. Сначала печатались в основном зарубежные рекомендации по технологии ремонта. Для практического обучения механизаторов в Москве были организованы курсы по ремонту машин, монтажу и ремонту тракторов.



Машинно-тракторные мастерские
Machine and tractor workshops

Одновременно на введенных в строй отечественных заводах сельскохозяйственного машиностроения возникла необходимость в изучении вопросов износа, потребности в запасных частях, организации технического обслуживания и ремонта. Первым в СССР научно-исследовательским подразделением этими вопросами занялась группа ремонта

машин созданного в 1930 г. Всесоюзного НИИ механизации сельского хозяйства (ВИМ) в составе инженеров Д.А. Клепикова и А.Р. Либермана. Вскоре к ним присоединились С.А. Петров (по сельскохозяйственным машинам), Н.Г. Горовой, Л.Г. Лившиц (по вопросам износа деталей тракторов и ремонта подшипников), М.А. Лапицкий и Б.С. Ферберг (по организации ремонта), П.Г. Макарьев и А.И. Селиванов (по техническому обслуживанию и ремонту тракторов) и другие специалисты. С декабря 1930 г. по май 1932 г. работы проводились в Москве и на многочисленных опытных станциях по всей стране.

Основные марки тракторов и других машин были заимствованы, поэтому данные для конструктивного расчета деталей отсутствовали. Тогда за основу предложений по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) были взяты материалы массовых наблюдений за содержанием и сроками фактического выполнения операций технического ухода передовыми трактористами и механиками, а также наблюдения за износом и поломками машин. Следует отметить исключительные для того времени масштабы. Только по трактору СХТЗ под наблюдением группы ремонта ВИМ были 300 контрольных машин, которые эксплуатировались в 35 опытных станциях и МТС в разных почвенно-климатических зонах СССР, и для оценки износа систематическому микрометражу через 300 часов выработки подвергались все детали. Первую методику микрометража деталей тракторов подготовил Л.Г. Лившиц.



Трактор СХТЗ-НАТИ
Tractor model SHTZ-NATI

Тогда же был организован сбор техно-статистической информации о сроках службы деталей. Методические указания и иллюстрированные таблицы для заполнения таких данных были изданы типографским способом и переданы примерно в 1000 хозяйств (МТС и совхозы). Для обработки из обширного первичного материала отбирали наиболее достоверные и непротиворечивые сведения. Путем их сопоставления и расчета определялись сред-

ние сроки операции технического ухода и регулировки, ремонта или общей службы деталей применительно к почвенно-климатической зоне. Информация о поломках деталей тракторов передавалась в ВИМ даже телеграфно.

По собственным наблюдениям на местах и поступавшей информации коллективом группы ремонта ВИМ в короткий срок были составлены первые правила технического ухода за тракторами (изданы в 1932 г.), первые нормы расхода запасных частей на ремонт машин (1931-1932 гг.), первые проекты ремонтных мастерских (1933 г.). В октябре 1931 г. вышел первый специальный номер журнала «Механизация социалистического сельского хозяйства», посвященный проблемам ремонта.

К маю 1932 г. под Москвой была построена экспериментальная база ВИМ и лаборатория ремонта площадью 700 м², оборудованная для ремонта любых частей машин. Расширение и оснащение лаборатории в те трудные времена подтверждают, насколько важно было заниматься решением проблем ТОиР. Экспериментальный трактор, работающие станки и стенды, рабочие столы научных сотрудников, кульманы конструкторов размещались в одном зале.

Коллектив лаборатории с высокой эффективностью выполнял свои функции. Здесь проходили первые отечественные исследования по технологии ремонтных работ, создавались отечественные комплекты оборудования и оснастки для мастерских, что дало возможность сократить их импорт. Здесь были написаны книги и руководство по ремонту советских тракторов. Большую помощь в развертывании работ по ремонтной и эксплуатационной тематике в 1934-1940 гг. оказывали руководители института Н.А. Сороко, Г.П. Зиновьев, Н.Ф. Андреев.

Главным итогом деятельности лаборатории ремонта ВИМ в эти годы, несомненно, следует считать создание (совместно со специалистами земельных органов В.В. Вахониным, П.Г. Макарьевым, Б.Н. Антоновским и многими другими) плано-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта тракторов и сельскохозяйственных машин с достаточно обоснованной и зафиксированной периодичностью и содержанием отдельных видов ТОиР, нормативами трудоемкости и материально-технического обеспечения [3].

Плано-предупредительная система ТОиР включала межсменные и периодические технические уходы, а также периодические ремонты. Эта система сыграла важную роль в налаживании массовой эксплуатации сельскохозяйственных машин, воспитании механизаторских кадров, организации ремонтных мастерских, разработке технической документации.

Другой крупный итог – это формирование и материально-техническое обеспечение структуры звеньев ремонтной сети, а также разработка проектов (совместно с проектными организациями и земельными ведомствами) типовых ремонтных мастерских. Параллельно в 1930-х годах проходили исследования в лаборатории ремонта и использования тракторного парка Украинского НИИ механизации сельского хозяйства (УНДИМ) под руководством А.М. Урина и М.И. Медведева; в лаборатории ремонта и использования тракторов научно-исследовательской станции механизации (НИМИС) при учебно-опытном совхозе «Верблюды» под Ростовом-на-Дону (впоследствии ВНИИМЭСХ) которые возглавляли Е.Н. Грибов, П.Л. Гольдберг, А.Н. Комаров, Г.И. Костровский, Г.К. Ксынкин; в Узбекской ССР работала группа использования и ремонта машин Среднеазиатской станции механизации хлопководства (впоследствии институт САИМЭ) в г. Янгиюле под Ташкентом.

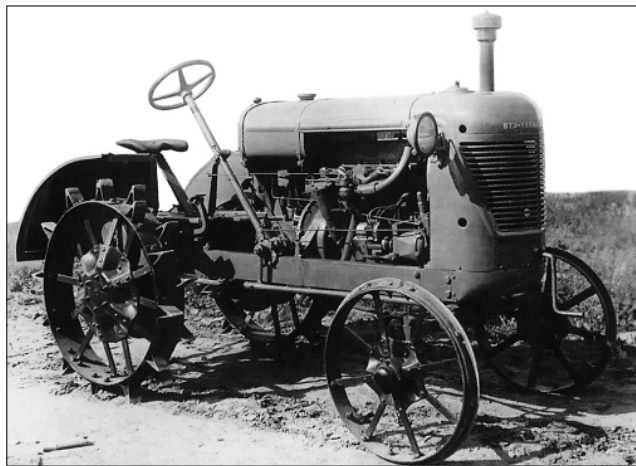
В вузах открывались кафедры ремонта машин, формировались коллективы квалифицированных специалистов и ученых. Прежде всего, необходимо отметить кафедру Ленинградского института механизации сельского хозяйства, где Г.И. Вавера создавал первый курс лекций по ремонту машин. На кафедре сначала аспирантом, а с 1936 г. заведующим работал В.И. Казарцев. Сильные профильные кафедры работали в Челябинске (ЧИМСХ), Воронежском, Сталинградском, Новосибирском институтах сельского хозяйства и в других регионах страны.

Уже к 1939-1940 гг. существенно изменились методы использования, обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве, разнообразной стала технология ремонта, усложнились применяемые оборудование и аппаратура. Механизаторами колхозов, совхозов, МТС, ремонтных предприятий накапливался колоссальный опыт для изучения и обобщения. Масштабы исследовательской работы требовали непрерывного расширения, а ее методы тщательной детализации, углубления. Перед Великой Отечественной войной в ВИМ были уже две лаборатории – ремонта тракторов и ремонта сельскохозяйственных машин со штатом до 50 человек. Во многих вузах появились кафедры ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка.

После войны парк тракторов был сильно изношен, техника не могла работать из-за нарушения базовых поверхностей корпусных деталей. Выход был только один: быстро создать технологию и оборудование для ремонта таких деталей, доступные к внедрению в условиях сравнительно примитивных мастерских МТС и совхозов. В короткий срок появилась целая серия в основном ручных приспособлений, которые обеспечивали достаточно точ-

ную обработку изношенных поверхностей базисных деталей и возможность восстановления нормальной координации валов, рабочих механизмов старых тракторов.

Серийное производство оснастки, освоение ее применения на многочисленных практических семинарах и контроль за ремонтом базисных деталей на местах позволили быстро восстановить работоспособность огромного арсенала старых тракторов (СХТЗ, СТЗ-НАТИ, «Универсал», ЧТЗ), прослуживших еще 5-6 лет пока налаживалось производство новых. В 1951 г. впервые группе ведущих специалистов по ремонту машин, непосредственно выполняющих эту работу (П.С. Кучумову, А.Ф. Бондаренко, М.А. Луканову и А.И. Селиванову), была присуждена Государственная премия СССР второй степени.



Трактор «Универсал»
Tractor model «Universal»

Более масштабное по объему задание, успешно выполненное коллективом лаборатории ВИМ, заключалось в создании типовой технологии ремонта тракторов и комбайнов. Ранее при бригадном методе ремонт проводился без документации и специализации труда. Необходимость в единой типовой технологии ремонта особенно остро возникла в 1949-1952 гг. при освоении узлового метода.

Типовая технология ремонта машин в сельском хозяйстве, изданная массовым тиражом в 1949-1953 гг. (включала 35 альбомов и книг общим объемом 2200 печатных листов), стала результатом огромного научного труда. В нем участвовали специалисты и научные работники лабораторий, кафедр исследовательских и учебных институтов (ВИМ, УНДИМ, ЧИМЭСХ, ВНИИМЭСХ), рецензенты промышленных заводов (ХТЗ, ЛТЗ, ЧТЗ, ВТЗ, ЗИС и др.), передовики ремонтных мастерских и заводов, специалисты министерства сельского хозяйства и местных земельных органов. Ведущая роль отводилась лаборатории ремонта ВИМ (позднее ГОСНИТИ),

которая руководила обобщением и унификацией типовой технологии. В подготовку, издание, а также внедрение в практику ремонтных мастерских и заводов огромный вклад внес главный редактор типовой технологии П.С. Кучумов.

В официальном рассмотрении и утверждении материалов типовой технологии участвовали работники министерств сельского хозяйства СССР, РСФСР, Украинской ССР и других организаций.

В сентябре 1953 г., когда решался вопрос как дальше развивать, поднять после долгой разрушительной войны сельское хозяйство, среди важнейших мер, определяющих перспективы развития отрасли и страны, уместно выделить создание Государственного союзного научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин (ГОСНИТИ). Это было предопределено решением сентябрьского Пленума ЦК КПСС 1953 г., который вошел в историю как важное политическое событие для сельского хозяйства в СССР [4, 5].

На пленуме рассматривался вопрос «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства СССР», и вновь остро ставились проблемы обеспечения техникой, состояния дел с обслуживанием и ремонтом. Требовались научное обоснование мер по совершенствованию технической эксплуатации, ремонтно-технологическому оборудованию, нормативно-технологической документации. Существовавшие до 1953 г. лаборатории ремонта в ВИМ, УНДИМ, НИИМЭСХ, САИМЭ, другие специализированные организации по механизации сельскохозяйственного производства были маломощные для решения возрастающих проблем и разобщены.

По инициативе А.И. Селиванова, заведующего соответствующей лабораторией ВИМ, руководство Министерства сельского хозяйства СССР (И.А. Бенедиктов, П.С. Кучумов, Л.А. Корбут) стало настойчиво добиваться, чтобы в постановлении сентябрьского Пленума ЦК КПСС предусмотреть создание специального научно-технологического института. Такой пункт был включен в Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 21.09.1953 г., а приказом по Министерству сельского хозяйства и заготовок СССР от 04.11.1953 г. № 918 организован ГОСНИТИ. Базой создания института послужили лаборатории ремонта и эксплуатации тракторов и автомобилей ВИМ, Перовский механический завод (стал опытным заводом ГОСНИТИ) и действовавшее при нем конструкторское бюро по нестандартному оборудованию.

Обязанности директора института было возложено на Александра Ивановича Селиванова (1908-1976), будущего академика ВАСХНИЛ, который считается не только создателем и первым директором ГОСНИТИ, но и основоположником теории

старения машин, по существу, науки об обеспечении их жизнестойкости. К концу 1955 г. в ГОСНИТИ действовали 13 лабораторий. Их руководители по праву составили ядро, вокруг которого продолжала формироваться тематика института, возникать научные школы.



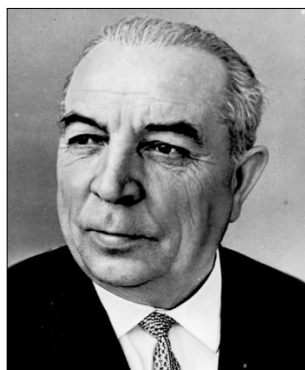
Александр Иванович Селиванов
Aleksandr Ivanovich Selivanov

Работы ГОСНИТИ развернулись по трем направлениям:

- совершенствование технологии и оборудования для ремонта машин;
- совершенствование методов технического обслуживания машин;
- разработка мероприятий по улучшению использования машинно-тракторного парка.

Уже в 1954-1955 гг. созданы и после производственных испытаний начали широко внедряться автопередвижные мастерские ГОСНИТИ-1 (после модернизации они выпускались под маркой ГОСНИТИ-2). На нескольких заводах поставлены на серийное производство бригадные фильтры РО-3902 для заправки дизельных тракторов (всего их было выпущено около 50 тысяч единиц), электротормозные стенды СТЭУ-28-ГОСНИТИ и СТЭУ-7-ГОСНИТИ, которые внедрились на Ростовском ремонтном заводе. Создано контрольное и ремонтное оборудование для гидроподъемников, завершена модернизация комплекта по ремонту и регулировке дизельной топливной аппаратуры, созданы механизированные автозаправщики РО-3904.

Проводились исследования по эксплуатации тракторов в зимнее время, повышению долговечности лемехов, втулок, шестерен, плунжерных пар, по технологии и оснастке ремонта пусковых двигателей, обоснованию посадки вкладышей в шатунах, по режимам расточки подшипников и шлифовки валов дизельных двигателей, массовому ремонту изношенных головок цилиндров, поршневых пальцев шатунов, холодной сварке чугуна и т.п.



Директора ГОСНИТИ (слева направо): А.П.Бахарев, Н.Ф. Андреев, С.С. Черепанов, В.И. Черноиванов
Directors of the GOSNITI (from left to right): A.P. Bakharev, N.F. Andreev, S.S. Cherepanov, V.I. Chernouvanov

В то же время в ГОСНИТИ изучали процесс виброконтальной наплавки деталей, для этого была предложена автоматическая головка, которая широко применялась на многих ремонтных предприятиях. Разработаны ремонтные сети сельхозтехники в Московской и Новосибирской областях, Латвийской ССР, на их основе началась специализация ремонтной базы сельского хозяйства всей страны. В лаборатории сельскохозяйственных машин предложена новая методика исследования износов лемехов в разных почвенно-климатических условиях, что впоследствии помогло при создании самозатачивающихся лемехов и лап культиваторов.

Первым постоянным директором ГОСНИТИ (1954-1957 гг.) стал Сергей Аверьянович Мельник (1909-1991) – крупный организатор ремонтного дела в сельском хозяйстве, вынесший на своих плечах трудности начального становления института как самостоятельного научного учреждения. Первое поколение коллектива ГОСНИТИ с особой благодарностью оценивало деятельность заместителя директора Федора Афанасьевича Соколова при строительстве корпуса № 1 на фундаменте недостроенного цеха авиазавода, который перед войной начали возводить в г. Перово Московской области [6].

В 1957 г. С.А. Мельник перешел на работу в министерство, а директором ГОСНИТИ назначен Александр Прокопьевич Бахарев (1913-1963) – инженер промышленности, стремившийся привнести в сельскохозяйственный оттенок научного почерка ГОСНИТИ новые индустриальные черты. Надо сказать, что старым «сельхозникам» это не всегда нравилось и порождало некоторые трения. К сожалению, развитие ГОСНИТИ, как специализированного научного учреждения по технической эксплуатации машинно-тракторного парка, прервалось в 1959 г. в связи с ликвидацией машинно-тракторных станций. ГОСНИТИ был объединен с ВИМ. Это решение оказалось ошибочным из-за недооценки тематики ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. Состав прежних лабораторий сократился более чем на 30%, финансирование ремонтной и

эксплуатационной тематики снизилось в два раза.

В апреле 1961 г. при организации В/О «Союзсельхозтехника» Постановлением Совета Министров СССР от 07.04.1961 г. № 296 ГОСНИТИ воссоздан как самостоятельное научное учреждение. Огромную помощь институту оказал бывший председатель В/О «Союзсельхозтехника» и будущий министр тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР Александр Александрович Ежевский. Он многократно посещал ГОСНИТИ, выступал перед коллективом о ближайших задачах ремонтного производства [7].

Перед институтом вновь ставились большие цели, и в его структуре предусматривалось создание филиалов и опорных пунктов. Это решительно укрепило ГОСНИТИ в качестве головной научно-исследовательской организации по проблемам ремонта и эксплуатации машин в сельском хозяйстве, позволил научным кадрам активно расширять деятельность во многих направлениях.

Пост директора ГОСНИТИ в 1961-1963 гг. занимал Николай Федорович Андреев (1902-1985), специалист в области технического сервиса гидравлических систем машин, способствовавший возрождению ГОСНИТИ и придавший новый импульс его развитию, в том числе как кузнецы научных кадров высшей квалификации. Заместителем директора по науке все эти годы и позднее, в течение 20 с лишним лет продолжал оставаться А.И. Селиванов.

С 1963 г. директором становится Сергей Семёнович Черепанов (1918-2002), возглавлявший институт почти 30 лет. С его именем связано большинство достижений, с которыми ГОСНИТИ вошел в историю сельского хозяйства, историю механизации.

В эти годы в ГОСНИТИ, его шести филиалах, двух крупных конструкторско-технологических бюро с 12 филиалами трудились более 6,5 тысяч человек, среди них 150 кандидатов и докторов наук.

Активно готовилась новая смена. За период с 1966 по 1970 г. окончили аспирантуру 125 человек, прошли защиты 79 кандидатских и 2 докторских диссертаций.

ций. В основном молодые специалисты и ученые оставались работать в институте и его филиалах.

Важными разработками ГОСНИТИ стали «Система технического обслуживания и ремонта машин» (С.С. Черепанов, А.С. Гальперин, Л.М. Пильщиков и др.) и «Методология планирования и схемы развития и размещения по регионам страны соответствующих объектов ремонтно-обслуживающей базы» (А.И. Селиванов, П.А. Хромецкий, В.И. Слободчиков, И.В. Шипков, Н.И. Лившиц, С.А. Горячев, Н.А. Королева и др.). Огромное значение имело обоснование более экономичной периодичности обслуживания тракторов, перечня операций и технологий их проведения (С.А. Васьковский, Г.Р. Ардашев, А.Г. Рагимов, А.В. Моршин).

На основе единого методологического подхода была решена задача оптимизации последовательности выполнения работ по обслуживанию машин, выбору и оптимизации передвижных и стационарных средств обслуживания (А.В. Ленский, А.П. Быстрицкая, М.Е. Опенышев и др.). В этот период разрабатывался метод безразборного определения состояния машин – диагностика (В.М. Михлин, В.И. Бельский). Были заложены основы теории прогнозирования технического состояния машин, созданы алгоритмы оптимизации допускаемых значений параметров. К началу 1980-х годов разработаны диагностические средства для тракторов и освоено их серийное производство (А.В. Колчин, А.В. Дунаев, В.И. Соловьев, П.М. Черейский, В.Н. Беляев, Е.П. Воронов и др.).

Разработанные институтом передвижные агрегаты позволили заправлять технику топливом в полевых условиях (А.И. Руденко, А.В. Ленский). Были составлены типовые технологии ремонта тракторов, агрегатов и узлов, которые предусматривали обезличенный ремонт, поузловую разборку и сборку изделий поточным методом. Впервые в практику ремонта был введен конвейер. Разработан государственный стандарт «Дизели тракторные и комбайновые. Технические условия на сдачу в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта» (Б.Б. Нефедов, В.Н. Лосев, П.М. Кривенко).

С целью повышения качества ремонта были разработаны процессы очистки машин и деталей с использованием синтетических моющих средств взамен каустической соды (А.П. Садовский, А.Ф. Тельнов, В.Е. Ромашов). Организовано серийное производство новых моечных машин с выпуском до 33–35 тысяч в год.

Большое внимание уделялось новым технологическим решениям для повышения ресурса отремонтированных изделий до 80% от ресурса новых [8].

Наиболее значимой разработкой ГОСНИТИ следует считать создание контрольно-испытательных и обкаточных стендов для выполнения финишных

операций агрегатов после ремонта (И.П. Погорелых, В.Я. Смирнов).

С 1992 до 2013 г. директором института работал академик РАСХН Вячеслав Иванович Черноиванов. Этот период связан с рыночными преобразованиями. Главная задача руководства ГОСНИТИ состояла в сохранении института, коллектива, и с ней удалось успешно справиться. Институт вошел в состав Российской академии сельскохозяйственных наук. Одной из первоочередных разработок стала новая концепция эффективного использования сельскохозяйственной техники в рыночных условиях, учитывающая формы организации сельских товаропроизводителей, производственную и техническую эксплуатацию машин [9].

Разработано «Руководство по созданию и функционированию центров технического сервиса». К важным направлениям относятся обоснование и нормативное обеспечение деятельности МТС, сертификационные услуги технического сервиса. Учеными ГОСНИТИ обоснована концепция ремонта техники со 100%-ным ресурсом, отработанная на примере ремонта головок блока цилиндров дизельных двигателей [10]. Для реализации этой концепции разработаны технологические процессы ремонта узлов и агрегатов с полным восстановлением и упрочнением деталей (Ф.Х. Бурумкулов, Н.Н. Литовченко, Д.Б. Слинко, В.И. Иванов).

С целью углубления и получения достоверных данных при исследованиях и разработке новых технологий при ГОСНИТИ был создан Наноцентр, оснащенный высококласным лабораторным оборудованием. Здесь проводят исследования научные сотрудники ГОСНИТИ, аспиранты и докторанты.

Большое внимание уделялось разработке концептуальных положений развития технического сервиса на перспективу (А.Э. Северный, Л.М. Пильщиков, М.А. Халфин). Эффективно развивались технологии восстановления деталей (Л.Г. Лившиц, А.В. Поляченко, В.И. Черноиванов, Е.Л. Воловик, В.В. Березников, М.Е. Кричевский).

Успехи в создании и внедрении системы и передовой технологии ремонта тракторов и сельскохозяйственных машин послужили основанием тому, что 25 мая 1967 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР ГОСНИТИ был награжден Орденом Трудового Красного Знамени. С момента зарождения в 1953 г. ГОСНИТИ в жизни коллектива института еще не было такого большого и радостного события. Высокая оценка труда явилась важным стимулом к еще более напряженной и эффективной работе по обеспечению быстрого подъема сельского хозяйства на основе достижений науки и передовой техники.

Выводы. Выполнен анализ становления и развития ремонта машин на всех этапах развития сельскохозяйственного производства. Приведена ин-

формация о исследовательской и конструкторской деятельности специализированных лабораторий, отделов Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства ВИМ (1930-1961 гг.). Рассмотрены достижения ученых и специалистов в области теории износа машин, создании типовой технологии ремонта. Отмечена роль Всесоюзного объединения «Союзсельхозтехника» в обеспечении ремонтных предприятий оборудо-

ванием и технологиями. Отражен многолетний вклад ученых ГОСНИТИ (1963-2013 гг.) в развитие ремонтной базы и создание ремонтно-технического оборудования. Приведены основные технико-экономические показатели при ремонте. Рассмотрены возможности и перспективы развития системы сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники на современном этапе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Огородник И.А., Гречихин Д.С. История и этапы развития ремонтного производства в сельском хозяйстве. Минск: Медисонт, 2018. 690 с.
- Рассказов М.Я. Современные тенденции организации ремонта сельскохозяйственной техники. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2001. 104 с.
- Ежевский А.А., Федоренко В.Ф., Аронов Э.Л. Стратегия, эффективность и опыт производственно-технического обеспечения сельского хозяйства во второй половине XX века. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 340 с.
- Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ) 50 лет ГОСНИТИ. М., 2003. 148 с.
- Черноиванов В.И. Основные этапы развития ГОСНИТИ // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Т. 113. С. 4-13. EDN: RUABEH.
- Лялякин В.П., Огородник И.А. История развития ремонтного производства // *Технический сервис машин*. 2019. N3 (136). С. 170-186. EDN: BEUOKL.
- Ежевский А.А. Техничко-технологическое обеспечение сельскохозяйственного производства. М.: ВИМ, 2013. С. 44-48. EDN: TQYRFD.
- Кушнарев Л.И. Повышение качества машин и оборудования на основе фирменного технического сервиса. *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N3(152). С. 46-50. EDN: AFYQJO.
- Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Голубев И.Г. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях. М.: Росинформагротех, 2008. 148 с.
- Черноиванов В.И., Горячев С.А., Щеглов Е.В. и др. Формирование инфраструктуры инженерно-технологических услуг сельским товаропроизводителям. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 192 с. EDN: QUGJUN.

REFERENCES

- Ogorodnik I.A., Grechikhin D.S. The history and stages of development of repair production in agriculture. Minsk: Madison. 2018. 690 (In Russian).
- Rasskazov M.Ya. Modern trends in the organization of repair of agricultural machinery. Moscow: Rosinformagrotech, 2001. 104 (In Russian).
- Yezhevsky A.A., Fedorenko V.F., Aronov E.L. Strategy, efficiency and experience of industrial and technical support of agriculture in the second half of the XX century. Moscow: Rosinformagrotech. 2004. 340 (In Russian).
- All-Russian Research Institute for Repair and Maintenance of machine and tractor fleet (GOSNITI) 50 years. Moscow. 2003. 148 (In Russian).
- Chernoivanov V.I. The main stages of the development of GOSNITI. Proceedings of GOSNITI. 2013. Vol. 113. 4-13 (In Russian). EDN: RUABEH.
- Lyalyakin V.P., Ogorodnik I.A. The history of the development of repair production. *Machinery technical service*. 2019. N3 (136). 170-186 (In Russian). EDN: BEUOKL.
- Yezhevsky A.A. Technical and technological support of agricultural production. Moscow: VIM. 2013. 44-48 (In Russian). EDN: TQYRFD.
- Kushnarev L.I. Improving the quality of machinery and equipment based on branded technical service. *Machinery technical service*. 2023. Vol. 61. N3 (152). 46-50 (In Russian). EDN: AFYQJO.
- Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Pilshchikov L.M., Golubev I.G. Maintenance, repair and renewal of agricultural machinery in modern conditions. Moscow: Rosinformagrotech. 2008. 148 (In Russian).
- Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Shcheglov E.V. et al. Formation of infrastructure for engineering and technological services to rural producers. Moscow: Rosinformagrotech. 2010. 192 (In Russian). EDN: QUGJUN.

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

01.02.2024
12.03.2024

EDN: VGEVQO

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-13-20



Научная статья

УДК 631.1



История агроинженерной науки в Санкт-Петербурге

Владимир Дмитриевич Попов,
доктор технических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: popov_vd@mail.ru;

Александр Юрьевич Брюханов,
доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: sznii@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал
Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. В конце XIX – начале XX века активно формировалась отечественная агроинженерная наука, которая занималась проблемами создания сельскохозяйственной техники. Внедрение в сельском хозяйстве новых технологий с учетом традиционных способов обработки земли было необходимо переводить на научную основу. Можно полагать, что история научного коллектива Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства началась с организации в Санкт-Петербурге в 1907 году Бюро по сельскохозяйственной механике. (*Цель исследования*) Обобщить историко-научную информацию о зарождении и развитии агроинженерной науки в Санкт-Петербурге, отразить преемственность научных традиций в решении производственных задач по направлению «Агроэкология». (*Материалы и методы*) Анализ выполнен по публикациям, посвященным становлению в России науки по механизации земледелия, истории Государственного сельскохозяйственного музея, а также по материалам, подготовленным к 100-летию создания Бюро по сельскохозяйственной механике. (*Результаты и обсуждение*) Приведены основные этапы и имена ученых, внесших вклад в работу Бюро в 1907-1917 годах. В результате преобразований был создан Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства (ВИМ). В 1930 году институт начал свою деятельность в Ленинграде, но вскоре его перевели в Москву, а в Ленинграде созданы филиалы ВИМ и ВИЭСХ, где продолжали трудиться бывшие члены Бюро. В 1962 году ленинградские филиалы объединили в самостоятельное учреждение – НИИМЭСХ Северо-Запада, а впоследствии – в научно-производственное объединение «Нечерноземагромаш» со штатом более 1200 сотрудников. В 2018 году учреждение вновь стало филиалом ВИМ с постановкой задачи комплексных научных исследований в области обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства. (*Выводы*) Важнейшим результатом многолетней истории коллектива является преемственность передачи знаний. В наши дни Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства в статусе филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ продолжает славные традиции своего первого предшественника – Бюро по сельскохозяйственной механике и следует им для решения новых вызовов в сельскохозяйственной науке и практике.

Ключевые слова: агроинженерная наука, Санкт-Петербург, Императорское вольное экономическое общество, Сельскохозяйственный музей, Бюро по сельскохозяйственной механике, научные школы, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства.

■ **Для цитирования:** Попов В.Д., Брюханов А.Ю. История агроинженерной науки в Санкт-Петербурге // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 13-20. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-13-20. EDN: VGEVQO.

Scientific article

History of Agroengineering Science in Saint Petersburg

Vladimir D. Popov,
Dr.Sc.(Eng.), member of the RAS,
chief researcher,
e-mail: popov_vd@mail.ru;

Aleksandr Yu. Bryukhanov,
Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the RAS,
chief researcher,
e-mail: sznii@yandex.ru

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. At the end of the 19th and beginning of the 20th centuries, there was a significant development in the field of domestic agricultural engineering science, which focused on the challenges associated with the creation of agricultural machinery. The

integration of new technologies in agriculture necessitated a scientific foundation for these advancements, with a keen consideration for the traditional methods of land cultivation. It is posited that the origins of the scientific team at the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production can be traced back to the establishment of the Bureau of Agricultural Mechanics in Saint Petersburg in 1907. (*Research purpose*) The paper aims to provide a comprehensive overview of the historical and scientific foundations surrounding the emergence and evolution of agroengineering science in Saint Petersburg; and illustrate the continuity of scientific traditions in addressing production objectives within the realm of «Agroecology». (*Materials and methods*) The analysis was conducted by drawing upon publications that delve into the inception in Russia agricultural mechanization science, the chronicles of the State Agricultural Museum as well as materials prepared for the 100th anniversary of the Bureau of Agricultural Mechanics' establishment. (*Results and discussion*) The paper outlines the primary stages and identifies the scientists who played pivotal roles in the operations of the Bureau during 1907-1917. Commencing its activities in Leningrad in 1930, the Institute was later relocated to Moscow. In Leningrad, branches of both VIM and VIESKH were established, where former members of the Bureau continued their work. Further, after various organizational changes, the Leningrad branches were amalgamated in 1962 to form an independent institution known as NIIMESKH of the North-West. This later evolved into the research and production association «Nechernozemagromash» with the workforce exceeding 1,200 employees. In 2018, the Institute once again became a branch of VIM, with a renewed focus on comprehensive scientific research aimed at ensuring the environmental sustainability of agricultural production. (*Conclusions*) The most significant outcome stemming from the team's extensive history is the continuity of knowledge transmission. Presently, operating under the umbrella of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, the team at the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production continues the illustrious traditions of its inaugural predecessor—the Bureau of Agricultural Mechanics. It remains steadfast in its commitment to these traditions in tackling emerging challenges in agricultural science and practice.

Keywords: agroengineering science, Saint Petersburg, Imperial Free Economic Society, Agricultural Museum, Bureau of Agricultural Mechanics, scientific schools, Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production.

■ **For citation:** Popov V.D., Briukhanov A.Yu. History of agroengineering science in Saint Petersburg. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 13-20 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-13-20. EDN: VGEVQO.

История организации и коллектива – это путь, время, пространство и опыт, в котором формируются культурный код, ценности, принципы, а значит, закладывается фундамент настоящего и вектор будущего развития. В нашем институте работали замечательные ученые Вениамин Георгиевич Антипин и Федор Николаевич Эрк, инициаторы исследований по истории становления агроинженерной науки в Санкт-Петербурге. Ф.Н. Эрком был изучен большой архивный материал, на основе которого издана известная книга «Из истории становления сельскохозяйственной механики» [1].

Изучением этапа развития сельского хозяйства в 1990-е годы занималась группа энтузиастов при Ленинградском научно-техническом обществе работников сельского хозяйства под руководством Василия Павловича Черепова. Результаты этих исследований позволили сделать вывод о том, что Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства является преемником первого научного коллектива России по механизации сельского хозяйства [2].

Цель исследования – обобщить историко-научный материал о зарождении и развитии агроинженерной науки в Санкт-Петербурге, отразить преемственность научных традиций в решении новых вызовов и производственных задач по направлению агроэкологии.

Материалы и методы. Анализ исторических материалов выполнен по публикациям, посвященным

становлению в России сельскохозяйственной механики, техники и науки в механизации земледелия, истории Государственного сельскохозяйственного музея, а также многочисленным материалам, подготовленным к 100-летию создания Бюро по сельскохозяйственной механике.

Результаты и обсуждение. Созданию Бюро по сельскохозяйственной механике предшествовала деятельность Сельскохозяйственного музея, созданного при Императорском вольном экономическом обществе (ИВЭО, существовало с 1765 по 1917 г.) [1, 3]. С 1803 г. для посещений публики были открыты музей прикладного естествознания и музей моделей и машин. Для музея лучшие образцы машин и оборудования выписывались из зарубежных стран. В 1835 г. при ИВЭО были организованы мастерские, где изготавливались машины и орудия по проектам народных умельцев. Музей рассматривал изобретения, чертежи и рисунки, поступавшие от людей различных сословий, многие публиковались в трудах ИВЭО. Среди рассмотренных – молотилка крестьянина Ивана Могилкина, паровой плуг Белецкого-Носенко, 32 изобретения механика Г.А. Чаплыгина.

В 1861 г. был создан Сельскохозяйственный музей Министерства государственных имуществ в Санкт-Петербурге (рис. 1). Перед сотрудниками и руководством музея ставились цели:

А) доставить сельским хозяевам средства к нагляд-



Рис. 1. Сельскохозяйственный музей Министерства государственных имуществ в Санкт-Петербурге

Fig. 1. Agricultural Museum of the Ministry of State Property in St. Petersburg

ному изучению предметов из области сельскохозяйственной промышленности и прикладных наук, с которыми им приходится иметь дело на практике;

Б) распространять в России, с помощью выставленных в Музее образцов, улучшенные земледельческие машины и орудия;

В) доставить русским механикам и мастерам возможность изучать устройство сельскохозяйственных машин, снимать с них чертежи и получать для подражания образцы;

Г) служить рассадником научных и практических сведений в области сельского хозяйства и сельскохозяйственной механики, посредством публичных чтений и наглядных объяснений в самом музее находящихся в нем предметов;

Д) служить учебным пособием для изучающих сельское хозяйство.

20 мая 1861 г. вышло правительственное распоряжение «Об открытии публичных лекций при сельскохозяйственном музее Министерства Государственных Имуществ». Основным направлением деятельности Сельскохозяйственного музея была просветительская работа. В лекциях теоретические знания сопровождались соответствующими практическими опытами. Чтение лекций принял на себя профессор сельского хозяйства в Санкт-Петербургском университете и заведующий отделом сельского хозяйства в ИВЭО А.В. Советов; практическое же объяснение орудий и машин и производство опытов – заведующий музеем Н.В. Черняев.

Музей постоянно расширялся, несколько раз менял свои адреса. К 1909 г. ему принадлежала территория площадью 2568 кв. саженей (около 5,5 тыс. кв. м). При музее имелись испытательное отделение с механической мастерской, аудитория на 480 слушателей, зал для собраний на 100 человек, библиоте-

ка-читальня, сарай и подвалы для склада вещей, в одном из них хранились устаревшие образцы сельскохозяйственных орудий, представляющие исторический интерес [1, 4]. В 1913 г. в Сельскохозяйственном музее побывали 113 тыс. человек. Музей работал до начала Великой Отечественной войны. Юридически Государственный музей социалистического сельского хозяйства в конце 1952 г. упразднен приказом Комитета по делам культурно-просветительских учреждений при Совете министров РСФСР; остатки экспозиции переданы Ленинградскому сельскохозяйственному институту [5].

Министерство государственных имуществ было учреждено Указом от 26 декабря 1837 г. «для управления государственными имуществами, для попечительства над свободными сельскими обывателями и для заведывания сельским хозяйством». В структуру министерства входил Ученый комитет как совещательный орган для более глубокого изучения технологических и производственных процессов и научного обоснования принимаемых министерством решений.

В дальнейшем роль Ученого комитета повысилась – было принято решение о создании специализированных бюро. 22 марта 1907 г. Борис Александрович Васильчиков, главноуправляющий Главного управления землеустройства и земледелия (ведомство, управляющее в ранге министерства сельским хозяйством Российской Империи), утвердил решение Ученого комитета от 10 марта 1907 г. об организации при комитете Бюро по сельскохозяйственной механике (далее – Бюро). 9 апреля 1907 г. состоялось его первое, подготовительное заседание.

Инициатором создания Бюро выступил старший специалист Департамента земледелия по сельскохозяйственному машиностроению Дмитрий Дмитриевич Арцыбашев, впоследствии его первый и единственный заведующий. Бюро включало три отдела: научный, справочный и статистический. В основные задачи научного отдела входили разработка примерных программ испытаний применительно к регионам России, испытания сельскохозяйственных машин и орудий. Справочный отдел собирал сведения о сельскохозяйственных машинах и орудиях, экономической эффективности их использования, а также сведения из иностранной литературы о патентах и привилегиях на машины и орудия. Обязанности статистического отдела включали сбор сведений о наличии тех или иных машин в разных районах России, о торговле ими, состоянии складов, фабрик, заводов и мастерских для ремонта машин, о кустарном машиностроении, выставках, а также поломках сельхозмашин.

У Бюро по сельскохозяйственной механике были собственные испытательные базы: на Средней Рогатке под Санкт-Петербургом площадью 40 деся-

тин; Акимовское под Мелитополем площадью 114 десятин и Капланбекское под Ташкентом площадью 140 десятин. Следует особо отметить возглавляемую Василием Прохоровичем Горячкиным испытательную станцию при Московском сельскохозяйственном институте. В.П. Горячкин умело сочетал науку, преподавание и освоение научных разработок в практике. Он заложил основы современной науки о механизации сельского хозяйства, разработал общую теорию плуга, молотильного барабана, теории масс и скоростей применительно к сельскохозяйственным машинам, создал более 30 оригинальных измерительных приборов, новые методы экспериментального исследования машин, первый атлас чертежей косилок, жаток и сноповязалок. В.П. Горячкин подготовил плеяду ученых и инженеров-практиков. Среди учеников и продолжателей его традиций академики ВАСХНИЛ Н.Д. Лучинский, В.И. Желиговский, М.В. Сабликов, Б.С. Свищевский, И.Ф. Василенко, А.Н. Карпенко, В.Н. Болтинский [6].

В 1912 г. сотрудники Бюро провели испытания 37 образцов машин для ухода за лугами, туковых разбросных сеялок, 5 машин по уборке и обмолоту кукурузы, 40 машин для богарного земледелия, около 100 уборочных машин, а также сортировок, картофелекопателей и сажалок, ручных и конных молотилок. За 1912 г. были подготовлены 6 и напечатаны 3 выпуска «Известий Бюро» общим объемом 2000 страниц. В том же году вышли «Адресная книга заводов, мастерских и складов сельскохозяйственных машин и орудий» (заводов и мастерских, выпускающих такую технику, в России было тогда 820) и составленные В.П. Горячкиным «Опыт перечня книг по земледельческой механике» и «Отчеты по испытаниям сельскохозяйственных машин и орудий в Московской сельскохозяйственном институте в 1906, 1907 и 1908 гг.» (второе издание) [6].

Полностью Бюро как исследовательская организация, проводившая не только испытания машин, но и научные исследования, сформировалось к 1915 г. В нем работали уже 8 отделов: сельскохозяйственной механики, мотокультуры (эксплуатации машинно-тракторного парка) и двигателей, агрономический (изучающий воздействие машин на почву), отделы атласа деталей, экономическо-статистический, прикладного машиноведения, справочно-издательский, изучения материалов, а также химическая, физическая и зерновая лаборатории [1, 6].

Члены Бюро работали на общественных началах, кроме председателя – члена Ученого комитета. Это были ведущие специалисты по сельскохозяйственной механике. Среди них преподаватели институтов, профессора А.А. Алов, В.П. Горячкин, Г.А. Латышев, К.Г. Шиндлер, заведующий бюро Д.Д. Арцыбашев и его помощник Ю.А. Вейс, заведующие издательским отделом К.И. Дебу, учебным

бюро С.Н. Ленин, помощник заведующего сельскохозяйственным музеем В.И. Строганов. Членом бюро был В.Ю. Ган, впоследствии член-корреспондент Академии наук СССР, один из основателей «Ростсельмаша» [6].

Летом 1917 г. по решению Временного правительства Ученый комитет преобразован в Сельскохозяйственный ученый комитет, а различные бюро – в соответствующие отделы комитета. Бюро по сельскохозяйственной механике было преобразовано в отдел машиноведения. В 1922 г. Сельскохозяйственный ученый комитет переименован в Государственный институт опытной агрономии (ГИОА).

Решением Совнаркома СССР от 25 мая 1929 г. учреждена Всесоюзная сельскохозяйственная академия им. В.И. Ленина [7]. В состав академии вошли 11 институтов, из них практически половина на базе соответствующих отделов ГИОА. Так, на базе отдела машиноведения был образован Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства (ВИМ). В 1930 г. ВИМ начал свою работу в Ленинграде, в него перешли бывшие сотрудники Бюро по сельскохозяйственной механике К.И. Дебу, А.А. Барановский, Н.И. Юферов, В.Т. Дудников, В.В. Куликов, Б.А. Линтварев. Первым заместителем директора ВИМ по научной работе назначен М.Х. Пигулевский.

Перед Государственным институтом опытной агрономии ставились задачи:

- выбрать в СССР и за границей оборудование для машинно-тракторного парка, наиболее подходящее для снабжения колхозов, совхозов и изготовления на советских заводах;
- усовершенствовать и упростить конструкцию сельскохозяйственных машин и оборудования;
- создать высокоадаптивное энерго- и ресурсосберегающее машинное обеспечение земледелия на основе учета биологических особенностей почвы, агротехнологий и зональных условий (рис. 2).

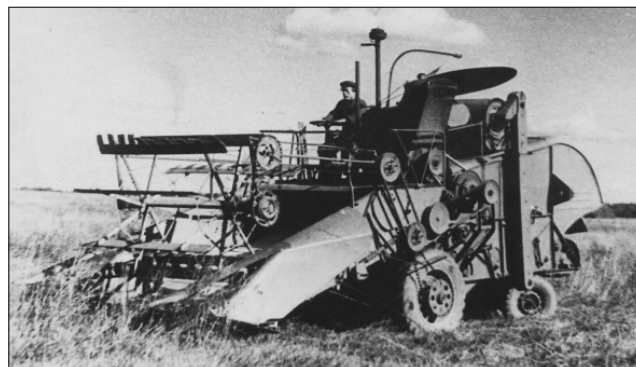


Рис. 2. Комбайн для уборки длинноколосых зерновых в условиях повышенной влажности Северо-западного региона, 1950-е годы

Fig. 2. A combine for harvesting long-eared grains under high humidity conditions in the Northwestern region, 1950s.

В декабре 1930 г. малым президиумом ВАСХНИЛ принято решение о переводе ВИМ в Москву. К моменту переезда в Ленинграде уже имелись отделы тракторов, машин для обработки почвы, для уборки и обработки урожая, механизации работ на фермах, изучения материалов, машиноиспользования, информационно-издательский отдел.

За 1930 г. и начало 1931 г. были изданы 20 бюллетеней и два тома научных трудов ВИМ, организована аспирантура. Первый директор Всесоюзного научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Наркомата земледелия (ВИМЭ НКЗ) Н.Л. Фельдман основной задачей считал объединение московского и ленинградского отделений и создание единого научно-исследовательского центра. В Ленинграде были созданы филиалы ВИМ и ВИЭСХ, где оставались бывшие члены Бюро по сельскохозяйственной механике.

После многочисленных преобразований за годы советской власти на базе СЗО ВНИПТИМЭСХ Постановлением Совета Министров РСФСР от 7 мая 1962 г. стал самостоятельным Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Северо-Запада (впоследствии НИИМЭСХ С.-З.). Как и ВИМ, он является правопреемником отдела машиноведения ГИОА, сохранивший научные труды, значительную часть библиотеки дореволюционного Бюро по сельскохозяйственной механике [7, 8].

Директором был поставлен опытный организатор Александр Михайлович Уваров. В 1962 г. в институте работали около 100 человек. В 1966 г. директором назначен Василий Семенович Сечкин, под его руководством прошел ряд преобразований в институте. В 1971 г. по ходатайству НИИМЭСХ С.-З. и при поддержке областных органов власти институт преобразован в Научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации Северо-Запада (НИПТИМЭСХ С.-З.), в 1977 г. – в НИПТИМЭСХ Нечерноземной зоны РСФСР, а к 1990 г. превратился в мощное научно-производственное объединение НПО «Нечерноземагромаш».

В состав НПО вошли научные подразделения, опытно-конструкторские и проектные бюро, производственная база, автотранспортное предприятие и 7 филиалов в областях Северо-Запада России. В самом НПО и подведомственных ему структурах работали около 1200 человек, в том числе 450 научных сотрудников, около 400 специалистов ОКПТБ и почти 350 занимались производством. НПО тесно сотрудничало при разработке новой техники и технологий с ведущими промышленными конструкторскими бюро, а «путёвку в жизнь» новые разработки получали при государственной приемке на машиноиспытательных станциях.

Основой для разработки новой, модернизации эксплуатируемой техники и технологии на ближайшие 5 лет с перспективой на 10 лет являлась утверждаемая межведомственной комиссией Система машин и технологий [8]. Это позволяло отслеживать жизненный цикл сельскохозяйственной техники и технологий от создания опытного образца до утилизации устаревших машин.

В институте формировались научные школы [9]. Родоначальником такой школы в области механизации производства зерна и трав стал заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Вениамин Георгиевич Антипин. Этот ученый прошел путь от лаборанта до заместителя директора по научной работе, посвятил институту более 50 лет творческой жизни, подготовил 30 учеников, работавших по всей стране. Среди учеников В.Г. Антипина и будущий директор института Василий Семенович Сечкин. В 2006 г. была проведена научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения В.Г. Антипина.

В области механизации обработки почвы и внесения удобрений научную школу возглавлял заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Михаил Григорьевич Догановский, руководивший Ленинградским отделением ВИМ и осуществлявший научное руководство НИИМЭСХ С.-З. Им подготовлено более 20 учеников.

Направление эксплуатации машинно-тракторного парка и научную школу возглавлял доктор технических наук Борис Григорьевич Волков, подготовивший более 10 молодых ученых.

Большой вклад в становление института внесли заведующие лабораториями А.С. Беляев, Ю.А. Барановский, В.Н. Овсяков, Е.А. Рыбальченко, С.А. Стрелковский, К.М. Семчинов, С.В. Гнездов и другие.

В 1966 г. в аспирантуре обучались 15 человек (вскоре их число достигло 50), после защиты большинства остались в институте, занимали должности научных сотрудников и руководителей подразделений.

В тот период институт ежегодно разрабатывал от 56 до 70 экспериментальных и опытных образцов машин, оборудования для животноводческих ферм, приборов автоматизированных систем управления, 15-20 экспериментальных проектов и проектов повторного применения, по 2-5 типовых проектов. До 15 машин передавались на государственные испытания на МИС.

Одна из разработок – плуг для энергонасыщенных тракторов с регулируемой шириной захвата, предохранителями от крупных камней и общим опорным колесом для снижения нагрузки на полевые доски корпусов плуга (рис. 3).



Рис. 3. Испытания плуга с регулируемой шириной захвата и предохранителями от камней

Fig. 3. Testing a plow with adjustable working width and stone protectors

Ежегодно выходили два выпуска научных трудов, методические рекомендации по использованию созданных в институте машин, механизмов, технологий. Вводились в эксплуатацию корпуса научно-исследовательских подразделений, приобреталось новейшее лабораторное оборудование, строилось жилье для сотрудников. С 1971 г. успешно работал специализированный совет по защите кандидатских диссертаций.

С распадом Союза ССР начались необратимые процессы и в науке. Это привело к ликвидации системы координации исследований. В стране с гиперинфляцией востребованность науки сократилась до минимума. Изменилось отношение государства к необходимости разработки новых машин, такая задача была возложена на машиностроителей.

Изменения отразились на тематике научных исследований. Из-за отсутствия централизованных средств существенно сократились конструкторские и проектные отделы, экспериментальные подразделения. Новые задания тематического плана НИР были направлены на разработку концепций и стратегий развития отдельных отраслей и машинных технологий, энерго- и ресурсосбережение, автоматизированных рабочих мест специалистов. Удалось сохранить основной костяк научных кадров и материально-техническую базу. Был сделан упор на собственные силы и сплоченность коллектива, введен действенный хозрасчет, усилена маркетинговая и инновационная работа.

Ежегодно внедрялись 40-50 разработок по 50-70 договорам с предприятиями, выполнялись технологические проекты реконструкции и нового строительства зернокомплексов, животноводческих ферм. По заказам хозяйств и предприятий изготавливалось около 90 единиц машин и оборудования. В 1990-е годы институт продолжил решать задачи по научному обеспечению модернизации сельскохозяйственного производства Северо-Западного региона и обеспечил свою финансовую стабильность [9]. Для привлечения аспирантов и молодых ученых

появилось общежитие на 50 мест. В 2001 г. НИИМЭСХ Северо-Запада был переименован в ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии.

В нашем институте удалось наладить полноценную научную работу, организовать деятельность диссертационного совета, включая право защиты докторских диссертаций [10, 11]. Продолжая традиции, в институте сохраняются прежние и формируются новые научные школы. Доктор технических наук, профессор Евгений Ефимович Хазанов создал науч-

ную школу по направлению механизации процессов в животноводстве; им подготовлено более 25 кандидатов наук. Доктор технических наук, профессор Василий Васильевич Калюга наряду с работой на кафедре в СПбГАУ возглавлял научное направление в области машинной технологии производства свинины; его учениками стали 5 молодых ученых. Доктор технических наук Валге Александр Мартынович, ученик профессора СПбГАУ А.Б. Лурье стал ведущим специалистом в области математического моделирования. Ни один аспирант не обходится без его помощи и поддержки. Доктор технических наук Вячеслав Николаевич Афанасьев возглавлял новое направление в сельскохозяйственной науке – вопросы методологии экологической безопасности машинных технологий производства сельскохозяйственной продукции и подготовил 6 кандидатов наук.

К началу XXI века существенно обострились проблемы техногенного влияния на окружающую среду. Сельскохозяйственное производство является одним из основных источников рассредоточенного (диффузного) негативного воздействия. Ситуация особенно обострилась в регионе Балтийского моря, что привело к необходимости принятия ряда международных документов и утверждению Плана по защите Балтийского моря странами региона.

С 2000-х годов институт постоянно наращивал свои компетенции в области агроэкологических исследований, что позволило определиться в период очередного преобразования научных учреждений с направлением деятельности и его новым названием. В 2014 г. после реформы РАН и появления ФАНО институт под новым названием (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – ИАЭП) в 2018 г. вошел в качестве филиала в Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. К 2021 г. реализованы более 14 крупных международных экологических проектов в области сельского хозяйства в сотрудничестве с более чем 10 странами и 25 научными организациями. На базе ин-

ститута решением Минприроды России создан опорный пункт по проблеме химически активного азота в рамках Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [10].

Наш институт является соисполнителем работ в рамках реализации ключевого результата важнейшего инновационного проекта государственного назначения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 29.10.2022 г. № 3240-р): «Техническое перевооружение, цифровизация и актуализация Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, совершенствование сбора исходных данных». Ученые института в составе федеральных и региональных рабочих групп, созданных при министерствах, занимаются решением задачи комплексного регулирования технического и экологического развития аграрной отрасли, обновления законодательства и нормативных документов. Исследования сосредоточены на решении агроэкологических проблем. Развитие сельского хозяйства по пути интенсификации позволяет наращивать производство при его конкурентной себестоимости. Укрупнение животноводческих и птицеводческих предприятий, увеличение использования синтезированных стимуляторов роста, средств защиты растений и лечения животных, применение высокопроизводительных тяжеловесных машинно-тракторных агрегатов усиливают нагрузку на природу.

В России ежегодно образуется более 600 млн т сельскохозяйственных отходов и побочных продуктов животноводства (навоз и навозосодержащие стоки), сопоставимых по количеству с производством зерна, мяса, молока, корнеплодов, овощей и другой продукции. На переработку и дальнейшее использование передается не более 50% отходов и побочных продуктов, остальная часть является источником загрязнения.

После энергетики и промышленности аграрный сектор занимает третье место по суммарным выбросам парниковых газов: в 2021 г. они составили 121,3 млн т CO_2 -эквивалента. Большую угрозу представляет загрязнение водных объектов биогенными веществами из-за неконтролируемых стоков с сельскохозяйственных территорий. Из-за недостаточной эффективности мероприятий по поддержанию плодородия почв ухудшается качество земель,

происходит деградация этого основного природного ресурса для производства агропродукции. Загрязнение окружающей среды в ближайшей перспективе останется в числе глобальных вызовов [12].

Оценка, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия интенсивных машинных технологий становятся приоритетными в научно-технологическом развитии России. Наиболее опасно появление разбалансированных агроэкосистем. Нарушение циклического круговорота питательных веществ и энергии вызывает загрязнение атмосферного воздуха климатически активными веществами, эвтрофикацию водоемов в результате насыщения биогенными веществами, загрязнение почв вредными элементами и микроорганизмами. В производственном аспекте разрушение плодородия и природной структуры почвы приводит к потере продуктивности и качества сельхозпродукции. Ситуация зачастую приводит и к негативным политическим решениям, когда вопросы экологии становятся сдерживающим фактором научно-технического прогресса в аграрной отрасли.

Сегодня в нашем институте и подведомственных структурах работают более 145 человек, в том числе 42 исследователя, академик и член-корреспондент РАН, 7 докторов, 17 кандидатов наук, в аспирантуре обучаются 11 человек. В составе института три научно-производственных площадки: Псковский и Чудовский экспериментально-производственные отделы, Ленинградская плодовоовощная опытная станция. Сохранена и научно-исследовательская база – почвенный канал, экспериментальная теплица, зал для исследований рабочих органов, информационно-выставочный комплекс, формируется творческая молодежная мастерская (ТММ). Современные реалии подчеркивают стратегическую важность агроэкологической и инженерной науки с точки зрения получения новых знаний и внедрения природоподобных технологий.

Выводы. Важнейшим результатом многолетней истории коллектива Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства являются традиции передачи молодым исследователям знаний, накопленных предыдущими поколениями ученых для решения новых вызовов в аграрной науке и практике. Начало современных достижений сельскохозяйственного производства и его механизации было положено более 100 лет назад с созданием Бюро по сельскохозяйственной механике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эрк Ф.Н. Из истории становления сельскохозяйственной механики в России. СПб: СЗНИИМЭСХ, 2004. 100 с.
2. Черепов В.П. Возродить государственный сельскохозяйственный музей. Еще об одной нац. утрате. СПб.: Ленингр. правл. НТО сел. хоз-ва, 1996. 30 с.
3. Иофинов С.А., Еникеев В.Г., Скробач В.Ф., Шкрабак В.С. Становление агроинженерной науки и образования в России (XIX-XX вв.). СПб.: Химиздат, 1999. 352 с.

4. Иофинов С.А. История техники и науки о механизации земледелия. СПб.: СПбГАУ, 1994. 178 с.
5. Никонов А.А. Спираль многовековой драмы: аграрная наука и политика России (XVIII-XX вв.). М.: Энциклопедия российских деревень, 1995. 574 с.
6. Агроинженерная наука России: становление, современное состояние, стратегия развития (к 100-летию создания Бюро по сельскохозяйственной механике)/ под ред. Н.В. Краснощекова, Ю.Ф. Лачуги, В.Д. Попова. М: Росинформагротех, 2007. 624 с.
7. Никонов А.А. Исторический путь ВАСХНИЛ и его вклад в аграрную науку. М.: Энциклопедия российских деревень, 1993. 90 с.
8. ВИМ: история механизации (1930-2005 гг.). М.: ВИМ, 2005. 504 с.
9. Попов В.Д. Северо-Западному институту механизации и электрификации сельского хозяйства – 55 лет // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2012. N3. С. 2-6. EDN: RPTDBT.
10. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Уваров Р.А. Методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 32-37. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-32-37. EDN: DOPONQ.
11. Судаченко В.Н., Эрк А.Ф., Тимофеев Е.В., Размук В.А., Ефимова А.Н. Роль информационных технологий в повышении энергоэффективности и экологической безопасности сельхозпроизводства Северо-Запада России // *АгроЭкоИнженерия*. 2020. N3 (104). С. 4-15. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10248. EDN: BIJMAM.
12. Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. N4 (113). С. 4-18. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18. EDN: CMQXUA.

REFERENCES

1. Erk F.N. From the history of formation of agricultural mechanics in Russia. Saint Petersburg: SZNIIMESH. 2004. 100 (In Russian).
2. Cherepov V.P. Revive the State Agricultural Museum. About one more national loss. Saint Petersburg: Leningrad Board of Scientific and Technical Society of Agriculture, 1996. 30. (In Russian).
3. Iofinov S.A., Yenikeev V.G., Skrobach V.F., Shkrabak V.S. Formation of agroengineering science and education in Russia (XIX-XX centuries). Saint Petersburg: Khimizdat. 1999. 352 (In Russian).
4. Iofinov S.A. History of technology and science of mechanization of agriculture. Saint Petersburg: SPbGAU. 1994. 178 (In Russian).
5. Nikonov A.A. Spiral of centuries-old drama: agrarian science and policy of Russia (XVIII-XX centuries). Moscow: Encyclopedia of Russian Villages. 1995. 574 (In Russian).
6. Agroengineering science of Russia: formation, current state, development strategy (to the 100th anniversary of the creation of the Bureau of Agricultural Mechanics) / N.V. Krasnoshchekov, Yu.F. Lachuga, V.D. Popov (eds.) Moscow: Rosinformagrotech, 2007. 624 (In Russian).
7. Nikonov A.A. Historical way of VASHNIL and its contribution to agrarian science. Moscow: Encyclopedia of Russian Villages, 1993. 90 (In Russian).
8. VIM: History of Mechanization (1930-2005). Moscow: VIM. 2005. 504 (In Russian).
9. Popov V.D. North-West Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture is 55 years old. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2012. N3. 2-6 (In Russian). EDN: RPTDBT.
10. Bryukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Methods for solving environmental problems in livestock and poultry farming. *Agricultural machinery and technology*. 2019. Vol. 13. N4. 32-37 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-32-37. EDN: DOPONQ.
11. Sudachenko V.N., Erk A.F., Timofeev E.V., Razmuk V.A., Efimova A.N. Role of information technologies in improving energy efficiency and environmental safety of agricultural production in North-West Russia. *AgroEcoEngineering*. 2020. N3(104). 4-15 (In Russian). DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10248. EDN: BIJMAM.
12. Briukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasilev E.V., Papushin E.A. Management concept of ecological safety of agro-ecosystems. 2022. *AgroEkoInzheneriya*. N4 (113). 4-18 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18. EDN: CMQXUA.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Попов В.Д. – научное руководство, формулирование основных целей и задач исследований, подготовка основного текста; Брюханов А.Ю. – работа с текстом, формирование общих выводов, итоговая корректировка статьи.

Авторы одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Popov V.D. – scientific supervision, formulating the main aims and objectives of the study, drafting the manuscript; Briukhanov A. Yu. – manuscript revision, drawing general conclusions, finalizing 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

09.01.2024

05.03.2024

EDN: MNVJIK

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-21-29



Научная статья

УДК 378



Вклад академика В.Н. Болтинского в агроинженерную науку и образование (120-летию со дня рождения ученого посвящается)

Михаил Никитьевич Ерохин¹,доктор технических наук, профессор, академик РАН,
e-mail: n.erohin@rgau-msha.ru;**Юлия Сергеевна Ценч²,**доктор технических наук, доцент,
e-mail: vimasp@mail.ru;**Дмитрий Михайлович Скороходов¹,**кандидат технических наук, доцент,
e-mail: d.skorokhodov@rgau-msha.ru

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

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Статья посвящена научным достижениям и разработкам выдающегося российского ученого в области сельскохозяйственного тракторостроения Василия Николаевича Болтинского. (*Цель исследования*) Формирование и обобщение историко-научных и инженерно-технических представлений о становлении и развитии научно-педагогических школ по исследованию работы тракторных двигателей и машинно-тракторных агрегатов на неуставившихся режимах. Вклад доктора технических наук, профессора, академика ВАСХНИЛ В.Н. Болтинского. (*Материалы и методы*) В исследовании применен хронологический метод. Используются историко-научные и информационные материалы, научные публикации ученых, оригинальные научные труды самого академика. Рассмотрены и обобщены исторические факты о роли В.Н. Болтинского в совершенствовании конструкции и повышении эффективности советских тракторов и агрегатов. (*Результаты и обсуждения*) В.Н. Болтинский посвятил свой трудовой путь от ассистента, доцента до вице-президента ВАСХНИЛ разработке и испытаниям новых образцов зарубежной и отечественной тракторной техники. По результатам своего опыта и многолетних исследований была опубликована монография «Работа тракторного двигателя при неуставившейся нагрузке», в ней большое внимание уделено влиянию неуставившегося характера нагрузки на показатели работы двигателя. В.Н. Болтинский успешно решал задачи, связанные с повышением рабочей скорости движения машинно-тракторных агрегатов и созданием принципиально новых сельскохозяйственных машин. (*Выводы*) Жизнь и творческая деятельность В.Н. Болтинского являются образцом человека, ученого, педагога, посветившего себя науке, воспитанию и профессиональному росту инженерных и научных кадров. В память о ученом ежегодно в России проходит постоянно действующий научно-практический семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского».

Ключевые слова: Василий Николаевич Болтинский, научная деятельность, агроинженерное образование, сельскохозяйственные тракторы, машинно-тракторные агрегаты, двигатель, неуставившийся режим нагрузки.

■ **Для цитирования:** Ерохин М.Н., Ценч Ю.С., Скороходов Д.М. Вклад академика В.Н. Болтинского в агроинженерную науку и образование (120-летию со дня рождения ученого посвящается) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. Т. 18. №1. С. 21-29. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-21-29. EDN: MNVJIK.

Scientific article

Academician V.N. Boltinsky's Legacy in Agricultural Engineering Education and Science (Commemorating the 120th Anniversary of the Birth)

Mikhail N. Erokhin¹,Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the RAS,
e-mail: n.erohin@rgau-msha.ru;**Yulia S. Tsench²,**Dr.Sc.(Eng.), associate professor,
e-mail: vimasp@mail.ru;**Dmitry M. Skorokhodov¹,**Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: d.skorokhodov@rgau-msha.ru

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

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article delves into the scientific contributions and advancements of the eminent Russian scientist in agricultural tractor construction, Vasily Nikolaevich Boltinsky. (*Research purpose*) The paper aims to shape and consolidate historical, scientific, engineering and technical concepts regarding the establishment and development of scientific and pedagogical institutions focused on the study of tractor engine operation and machine-tractor units in unsteady modes. It also seeks to underscore the contributions made by Doctor of Technical Sciences, Professor, and Member of VASKHNIL, V.N. Boltinsky. (*Materials and methods*) The study employs a chronological approach, utilizing historical, scientific, and informational resources, including publications by prominent scientists and original works by the academician himself. The paper also analyzes and summarizes historical facts detailing the role of V.N. Boltinsky in enhancing the design and efficiency of Soviet tractors and machinery units. (*Results and discussions*) Throughout his career, from assistant to associate professor to vice-president of VASKHNIL, V.N. Boltinsky dedicated himself to developing and testing new models of both foreign and domestic tractor equipment. His extensive experience and years of research culminated in the publication of the monograph «Operation of a tractor engine under unsteady load», which extensively explores the impact of varying loads on engine performance. V.N. Boltinsky successfully solved problems related to enhancing the operational speed of machine and tractor units, as well as innovating the design of agricultural machinery. (*Conclusions*) The life and professional endeavors of V.N. Boltinsky serve as a shining example of dedication to science, education, and the professional advancement of engineering and scientific professionals. To honor his legacy, an annual scientific and practical seminar entitled «Academician V.N. Boltinsky Readings» is held in Russia, ensuring his contributions continue to be celebrated and remembered.

Keywords: Vasily Nikolaevich Boltinsky, scientific activity, agricultural engineering education, agricultural tractors, machine and tractor units, engine, unsteady load conditions.

■ **For citation:** Erokhin M.N., Tsench Yu.S., Skorokhodov D.M. Academician V.N. Boltinsky's legacy in agricultural engineering education and science (commemorating the 120th anniversary of the birth). *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 21-29 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-21-29. EDN: MNVJIK.

4 января исполнилось 120 лет со дня рождения Василия Николаевича Болтинского, выдающегося ученого в области тракторостроения, академика ВАСХНИЛ, доктора технических наук, профессора, дважды лауреата Государственной премии СССР, заслуженного деятеля науки и техники, Героя Социалистического Труда. Василий Николаевич Болтинский из поколения людей, детство и юность которых пришлось на годы Первой мировой войны, революции, Гражданской войны, разрухи. В зрелые годы предстояло пережить Вторую мировую войну и восстанавливать разрушенное народное хозяйство.

Заложенное в родительской семье стремление к знаниям стало определяющим при выборе Василием Николаевичем своего жизненного пути. Еще в годы учебы в Сельскохозяйственной академии он проявлял склонность к научным исследованиям, активно занимался в студенческом научном кружке по земледельческой механике, организованном В.П. Горячкиным на базе машиноиспытательной станции.

Становление Василия Николаевича как ученого совпало с периодом тракторостроения и механизации сельского хозяйства СССР. В своих исследованиях Василий Николаевич, опираясь на знания земледельческой механики и теорию о тракторе, стремился установить связь условий работы с параметрами двигателя и машинно-тракторного агрегата в целом. Это направление стало главным,

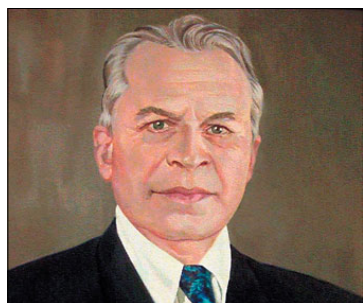
которому В.Н. Болтинский посвятил последующие годы работы.

Цель исследования – формирование и обобщение историко-научных и инженерно-технических представлений о становлении и развитии научно-педагогических школ по исследованию тракторных двигателей и машинно-тракторных агрегатов на неустановившихся режимах и вклад в развитие этого направления академика В.Н. Болтинского и его работ.

Материалы и методы. Использован хронологический метод исследований на основе историко-научных и информационных материалов, публикаций, научных трудов В.Н. Болтинского. Рассмотрены и обобщены факты о биографии ученого, сыгравшего важную роль в становлении и совершенствовании отечественной тракторной промышленности.

Результаты и обсуждение. Василий Николаевич Болтинский родился 4 января 1904 г. (22 декабря 1903 г. по старому стилю) в Астрахани в семье священника [1, 2]. В 1914 г. поступил в Астраханскую мужскую гимназию (с 1917 г. – школа второй ступени). В 1921 г., окончив школу с отличием, Болтинский поступает на агрономический факультет Астраханского государственного университета. В ноябре этого же года его направляют на учебу в Москву на Высшие (Голицинские) сельскохозяйственные курсы. После закрытия курсов в 1922 г. Василия зачислили на инженерный факультет Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

На инженерном факультете в те годы препода-



Василий Николаевич Болтинский (1904-1977)
Vasily N. Boltinsky (1904-1977)

вали известные ученые. Занятия по сельскохозяйственной механике проводил В.П. Горячкин, основам земледелия и растениеводства – В.Р. Вильямс, теоретической механике – Н.И. Мерцалов, по электротехнике – Н.А. Артемьев, электроприводу – М.Г. Евреинов, сопротивлению материалов – И.П. Прокофьев, деталям машин – И.И. Бобарыков, Е.М. Гутьяр, по технологии металлов и дерева – Н.Ф. Болховитинов. Базой практического обучения служила машиноиспытательная станция (МИС), входящая в структуру инженерного факультета [3]. На станции занимались не только исследованиями, но и испытаниями новых образцов иностранной и отечественной техники, отработывалась методика лабораторных и практических занятий. Во всех работах активно участвовали студенты. Для тех, кто занимался в студенческом научном кружке, были организованы дополнительные лекции, экскурсии на заводы сельскохозяйственного машиностроения. При активном участии студентов расширялись учебные мастерские. В результате из Тимирязевки выходили высококвалифицированные инженеры, многие стали видными учеными, организаторами производства, создателями отечественной техники: В.А. Желиговский, И.И. Артоболевский, В.Н. Болтинский, М.С. Пустыгин и др.

Из наиболее активных участников научного кружка В.П. Горячкин подбирал себе помощников для научной работы. Он обратил внимание на способного студента Василия Болтинского, которого в 1927 г. после окончания теоретического курса пригласил на работу в МИС на должность лаборанта тракторного отдела.

Постановлением Совета труда и обороны и Совнаркома от 18 декабря 1928 г. № 283 на базе МИС был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной механики, реорганизованный в 1931 г. во Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ). Первым директором института был назначен В.П. Горячкин. Штат института комплектовался из сотрудников МИС, профессорско-преподавательского состава и выпускников инженерного факультета Тимирязевской сельхозакадемии [4].

В ВИСХОМе В.Н. Болтинский до 1933 г. прошел путь от стажера, инженера до заместителя заведующего тракторным отделом и участвовал в испытаниях более 25 моделей тракторов (*рис. 1*), что дало начинающему исследователю обширные знания по конструкции, оценке достоинств и недостатков тракторов, а также опыт методиста-исследователя.



Рис. 1. Исследование американского трактора «Фордзон». За рулем В.Н. Болтинский (1930-1931 г.)

Fig. 1. Exploring the American Fordson tractor: being operated by V.N. Boltinsky (1930-1931)

Результаты испытаний публиковались в научно-технических журналах, обсуждались на научных конференциях, а рекомендации использовались конструкторскими организациями при разработке моделей тракторов. Данные, полученные при испытаниях, легли в основу дипломного проекта В.Н. Болтинского «Конструкция трактора с бескомпрессорным дизель-мотором по типу «Юнкерс» для работы с 3"×14" плугом».

В 1929 г., защитив диплом, Василий Николаевич работает по совместительству старшим ассистентом на кафедре тракторов в Московском механико-электротехническом институте имени М.В. Ломоносова. Заведовал кафедрой профессор Е.Д. Львов, конструктор одного из первых тракторов «Коломенец», которые в 1923-1929 гг. выпускали Коломенский и Брянский заводы. Научные воззрения будущего академика формировались под влиянием замечательных ученых, основателей теории о тракторе Д.К. Карельских и Е.Д. Львова, с ними Василий начинал свою инженерную деятельность.

Шло активное становление коллективного сектора в сельском хозяйстве, страна остро нуждалась в инженерных кадрах. На базе инженерного факультета Тимирязевской академии и факультета индустриального земледелия Московского механико-электротехнического института имени М.В. Ломоносова в 1930 г. был организован Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ). На кафедру тракторов и автомобилей в МИМЭСХ были приглашены профессора Е.Д. Львов и Д.К. Карельских. На кафедре в должности доцента начал работать В.Н. Болтинский и под руководством своих наставников включился в работу по организации и совершенствованию учебного процесса.

Можно сказать, что талантливым наставникам повезло с талантливым учеником. За короткий срок были разработаны методические документы по всем преподаваемым на кафедре учебным курсам. В 1935 г. В.Н. Болтинский опубликовал учебник «Автотракторные двигатели» для подготовки инженеров в сельскохозяйственных вузах. Учебник широко использовался в МВТУ имени Н.Э. Баумана, Военной академии механизированных и бронетанковых войск имени И.В. Сталина, Военно-транспортной и Артиллерийской академиях и других вузах [2]. Учебник выдержал семь изданий, был переведен на болгарский, китайский, корейский и румынский языки. В 1938 г. в соавторстве с Е.Д. Львовым вышел учебник «Теория тракторов». К 1940 г. ученые кафедры тракторов и автомобилей МИМЭСХ стали признанными специалистами в области теории тракторов и методике изучения автомобилей и тракторов.

В довоенные годы в СССР активно развивалось сельскохозяйственное машиностроение. Были построены флагманы индустрии Ростсельмаш (1929 г.), Сталинградский (1930 г.), Харьковский (1933 г.), Челябинский (1933 г.) тракторные заводы, создавались машинно-технологические станции. Коллективы заводских конструкторских бюро, ученые НИИ, вузов создавали собственные модели сельхозтехники, адаптированные к условиям эксплуатации. За 1931-1941 гг. были выпущены 660 тысяч колесных и гусеничных тракторов. Успешное становление тракторной промышленности и целенаправленная политика в сельском хозяйстве позволили за 10 лет механизировать вспашку зяби на 75% и паров на 85%, посев и уборку зерновых на 50 и 42% [5].

Научная деятельность профессорско-преподавательского состава кафедры тракторов и автомобилей была сосредоточена на обосновании выбора рабочих параметров и рационального типажа тракторов, улучшении показателей двигателей [6]. В.Н. Болтинский уделял особое внимание эффективности и топливной экономичности тракторных двигателей, в 1938 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию в МВТУ имени Н.Э. Баумана. К этому времени его труды уже широко известны в научных кругах, а автор пользуется репутацией ведущего специалиста в тракторостроении. Василий Николаевич возглавляет комиссию при Техническом совете Наркомата земледелия СССР по экономии топлива, разрабатывает общие требования к тракторным двигателям, которые учитывались при формировании технической политики в области тракторного двигателестроения.

В первый день войны МИМЭСХовцы заявили о готовности отдать все силы на борьбу с врагом [7]. В июле 1941 г. более 450 человек – студентов, аспирантов, учебно-вспомогательного и преподаватель-

ского состава, среди них В.Н. Болтинский, ушли на фронт. Василий Николаевич сражается рядовым красноармейцем 7-го автополка Юго-Западного фронта, но уже в сентябре его командируют в Военную ордена Ленина академию бронетанковых и механизированных войск преподавателем на кафедре двигателей, где готовили кадры высшего офицерского состава. По представлению руководства академии ему было срочно присвоено звание майора.

В годы войны тракторные заводы, эвакуированные на восток вне зоны боевых действий, были переведены на выпуск танков. Выпуск тракторов сократился: на 1 января 1940 г. их парк насчитывал 534,7 тысячи, к 1 января 1942 г. снизился до 312,7 тысяч [4]. Однако правительство не допустило распада тракторостроительной отрасли. В 1943 г. после побед под Сталинградом, Курском и коренного перелома войны выделялись средства на строительство новых Липецкого и Владимирского тракторных заводов, наращивание мощностей Алтайского тракторного завода и восстановление Сталинградского и Харьковского заводов. Челябинскому тракторному заводу было поручено разработать технические проекты конструкций дизельных гусеничных сельскохозяйственных тракторов мощностью 80 и 120 л.с., а также чертежи дизельного двигателя КД-46 для трактора «Сталинец-80». С фронтов стали отзывать специалистов с опытом работы в тракторостроении. В 1944 г. начались поставки тракторов в сельское и лесное хозяйство, другие отрасли. Кроме того, в годы войны были созданы новые образцы тракторов «Универсал», ДТ-54, КД-35, «Сталинец-80».

После демобилизации в 1944 г. Василий Николаевич Болтинский возвращается в МИМЭСХ и помимо подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства активно занимается исследованием дизелей Д-35, КДМ-46, тракторов КД-35, ЛТЗ, «Катерпиллер Д-3», «Клетрак АД», С-64, С-80. Одновременно он являлся заместителем, позже председателем государственной комиссии по испытаниям трактора С-64, участвовал в государственных испытаниях трактора КДП-35-2. 1940-е годы в отечественном тракторостроении были этапом перевода тракторных двигателей с керосина на дизельное топливо. Это потребовало создания целой отрасли по производству дизельной топливной аппаратуры. В результате примерно на треть снизился расход топлива, издержки на транспортировку и хранение тракторов, повысилась их противопожарная безопасность.

По результатам многочисленных исследований карбюраторных и дизельных двигателей Василий Николаевич в 1947 г. защитил докторскую диссертацию, а с 1948 по 1968 г. руководил кафедрой тракторов и автомобилей. За 20 лет сложился прекрас-

ный научно-педагогический коллектив кафедры. Учебные кабинеты и лаборатории были оснащены необходимым оборудованием для занятий и исследований. В.Н. Болтинский использовал все возможности для укрепления материально-технической базы кафедры. В 1946-1948 гг. Советом Народных Комиссаров была создана государственная комиссия по испытаниям и подготовке к производству двигателя трактора КД-35, в ее состав был включен В.Н. Болтинский. По его просьбе для исследовательских целей специальным распоряжением с подписью И.В. Сталина для кафедры был выделен один двигатель Д-35.

На кафедре активно работало студенческое научное общество (СНО). Многие студенты в последующем стали учеными, педагогами, организаторами производства тракторов и другой сельскохозяйственной техники. Кафедра оказывала большую помощь сельскохозяйственным вузам, в том числе зарубежным, принимая на стажировку преподавателей и аспирантов, производственным предприятиям в подготовке и повышении квалификации механизаторских кадров. Преподаваемые дисциплины полностью были обеспечены учебно-методическими пособиями и документацией. Учебники и разработки, созданные на кафедре при непосредственном участии В.Н. Болтинского, были востребованы в нашей стране и за рубежом.

В 1949 г. Василий Николаевич по результатам многолетних исследований публикует монографию «Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке». Этот научный труд явился продолжением и развитием учения В.П. Горячкина о земледельческой механике и теории трактора, разработанной Д.К. Карельских и Е.Д. Львовым.

В начале монографии отмечается, что при расчете и анализе работы сельскохозяйственных тракторов и тракторных двигателей принимают нагрузку стационарной, тогда как при выполнении любой работы происходят значительные колебания нагрузки тракторного двигателя. В результате многие конструкции тракторов, успешно выполняющие определенное действие при стационарной нагрузке, при неустановившемся режиме становятся неработоспособными. Для успешного выполнения различных операций должно быть соответствие между условиями работы и приведенным моментом инерции машинно-тракторного агрегата [8].

Автор опирается на положения, изложенные в книге В.П. Горячкина «Теория массы и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий», что:

«Основная задача теории массы сельскохозяйственных машин и орудий – определить достаточную и необходимую величину массы рабочих органов орудия и двигателя с целью вместить, возможно, больше механической энергии в единицу массы...»;

«... для сельскохозяйственных машин и орудий должны существовать некоторые предельные размеры по массе и скоростям; излишек массы бесполезен и даже вреден, а, с другой стороны, недостаток её также недопустим»;

«... необходимо связать массу и скорость рабочих органов не только с характером работы, но и с характеристикой двигателя».

Далее отмечается, что проверка соответствия приведенного момента инерции машинно-тракторного агрегата тем условиям работы, для которых он предназначен, не производится.

На основе анализа результатов многочисленных испытаний МТА, автором установлено, что при выполнении любой сельскохозяйственной операции происходят значительные колебания нагрузки тракторного двигателя (рис. 2а). Степень неравномерности момента сопротивления двигателя δ_k может достигать 0,3-0,4, а среднее значение момента сопротивления отклоняться на 35-40% (при пахоте). При работе двигателя с неустановившейся нагрузкой его эффективные показатели существенно понижаются, происходят колебания угловой скорости, которые в свою очередь расстраивают работу регулятора, а это существенно отражается на работе двигателя.

Для выявления влияния характера протекания момента сопротивления на показатели работы двигателя В.Н. Болтинский предложил вместо сложной функции рассматривать близкую к ней синусоиду, как более простую зависимость (рис. 2б).

Опираясь на теоретические и экспериментальные данные, Василий Николаевич получил математические зависимости и разработал методику определения приведенного момента инерции машинно-тракторного агрегата и маховика двигателя с учетом неустановившихся нагрузок. В монографии также выделены направления дальнейшего исследования влияния неустановившейся нагрузки на работу тракторного двигателя и его механизмов. Сформулированные направления исследований были приняты на вооружение другими научными коллективами в разных городах страны.

Многие ученики В.Н. Болтинского продолжили дело учителя: А.М. Гуревич, И.К. Кипшакбаев, Е.А. Козмодемьянов, М.И. Погосбеков, А.Г. Сахаров, А.К. Юлдашев, В.С. Софронов, В.С. Малашенко, А.К. Тургиев, Б.М. Беляев, Ю.А. Титов, А.К. Воронин и др. (рис. 3).

Монографию В.Н. Болтинского активно использовали для развития теории эксплуатации МТП основоположник этой дисциплины Л.Б. Свирщевский, а также Л.Е. Агеев и Н.М. Шаров. В книге Н.М. Шарова изложены методы математического моделирования показателей работы машинно-тракторных агрегатов при вероятностном характере внешних

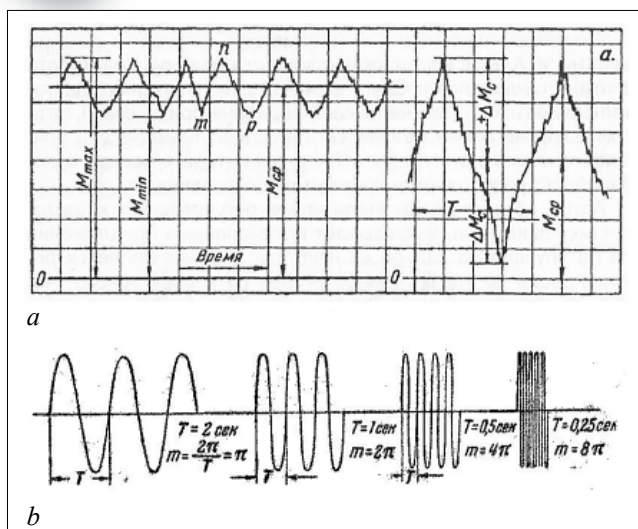


Рис. 2. Характер изменения моментов сопротивления двигателя по В.Н. Болтинскому: а – фактическое колебание нагрузки; б – принятый закон изменения колебаний нагрузки

Fig. 2. The nature of the change in engine resistance torques according to V.N. Boltinsky: a – actual load fluctuation; b – the accepted law of load fluctuation changes

воздействий. В Ленинградском СХИ работы С.А. Иофинова посвящены исследованию влияния вероятностного характера нагрузки на показатели работы машинно-тракторных агрегатов. Под руководством профессора Ф.Б. Лурье разворачивается целое научное направление по исследованию управления динамическими системами. Теоретические положения монографии В.Н. Болтинского включали практически во все научные монографии и учебники того времени, в том числе ведущие ученые в области теории трактора И.И. Трепененков, В.Я. Анилович, Д.А. Чудаков, Ю.К. Киртбая, В.И. Анохин, А.В. Николаенко, Д.Д. Багиров.

Идеи В.Н. Болтинского с анализом влияния колебаний нагрузки и других параметров на тягово-энергетические показатели трактора, обобщение и систематизация сведений о тяговой динамике трактора получили свое развитие в монографии, изданной И.Б. Барским, В.Я. Аниловичем и Г.М. Кутковым, а также в монографии Г.М. Куткова [9]. В них трактор впервые рассмотрен как динамическая система отдельных колебательных звеньев, подверженная воздействию не только тяговой нагрузке, но и неровностям рельефа, а также управляющим воздействиям тракториста. В учебник для вузов по теории трактора Г.М. Кутковым был включен раздел «Тяговая динамика трактора» [10].

Монография В.Н. Болтинского открыла новый этап в развитии теории трактора. Колебания, неизбежно сопровождающие работу трактора, которые рассматривали как досадную помеху при испытаниях, стали изучать с позиций их вредного

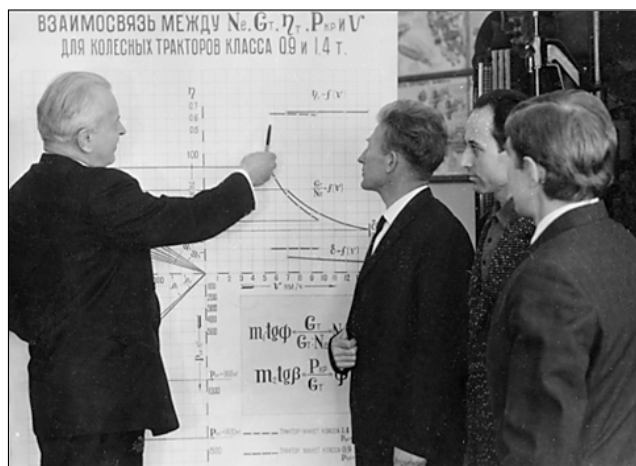


Рис. 3. Обсуждение научной проблемы с аспирантами кафедры

Fig. 3. Discussion of a scientific problem with PhD students at the department

влияния на эксплуатационные показатели и разрабатывать мероприятия конструктивного и эксплуатационного характера, предотвращающие или снижающие это влияние. Именно за этот труд Василий Николаевич был удостоен в 1952 г. Сталинской (Государственной) премии. В 1956 г. В.Н. Болтинский, как автор исключительных по своей значимости научных исследований, был избран академиком ВАСХНИЛ.

Не менее важна работа Василия Николаевича по руководству народно-хозяйственной проблемой повышения скоростей машинно-тракторных агрегатов. За 1941-1950 гг. тракторы практически не подвергались модернизации, рабочие скорости МТА сохранялись на уровне первых моделей 3-5 км/ч. По техническим характеристикам советские тракторы существенно отстали от мирового уровня и не соответствовали требованиям производства. По инициативе ученых ВИМ [11] на государственном уровне была поднята проблема повышения рабочих скоростей движения машинно-тракторных агрегатов и поставлена задача в 3 раза повысить рабочие скорости до 9-15 км/ч [12]. В 1959 г. в ВАСХНИЛ по этой теме был создан координационный совет, его председателем и руководителем утвержден академик ВАСХНИЛ В.Н. Болтинский.

С повышением скоростей МТА требовалось обеспечить необходимую надежность и технику безопасности, улучшить условия труда. Одновременно возник вопрос о создании принципиально новых сельскохозяйственных машин, так как энергонасыщенные тракторы не могли агрегатироваться и эффективно работать с морально устаревшими машинами и орудиями. К оперативному решению этой научно-технической задачи были привлечены ведущие научно-исследовательские, проектно-конструкторские, испытательные организации и заводы. Сель-

скохозайственные машины разрабатывали параллельно с тракторами, а проверку и доводку проводили в специальных модельных отделениях. Для решения непредвиденных проблем организовывались новые подразделения. К исследованиям широко привлекали ученых вузов. Такое концентрирование сил существенно ускорило создание машин.

В результате производительность МТА увеличилась в 1,5-2 раза, сформировались творческие коллективы КБ заводов, служб надежности, сельское хозяйство получило тракторы МТЗ-80/82, Т-150К, Т-150 и машины, сопоставимые по техническому уровню с зарубежными моделями. За эту работу В.Н. Болтинскому и группе ведущих ученых и специалистов была присуждена Государственная премия, для Василия Николаевича уже вторая.

Проявленные при решении государственной проблемы научные и организаторские способности обеспечили В.Н. Болтинскому заслуженный авторитет в научных кругах, и в 1968 г. его утверждают вице-президентом ВАСХНИЛ [13]. В этой должности Василий Николаевич проводил большую работу по организации и повышению эффективности сети научно-исследовательских институтов и научных станций.

Несмотря на свою занятость, болезни В.Н. Болтинский уделял постоянное внимание институту и особенно укреплению кафедры. Благодаря его настойчивым усилиям в 1967 г. было принято Постановление Совета Министров СССР о строительстве нового учебного корпуса, в котором в наши дни размещена кафедра тракторов и автомобилей. На этом здании установлена мемориальная доска В.Н. Болтинскому.

За заслуги в области сельскохозяйственного машиностроения и механизации сельского хозяйства и в связи с 70-летием Указом Президиума Верховного Совета СССР от 4 января 1974 г. академику В.Н. Болтинскому присвоено звание Героя Социалистического Труда [14] (рис. 4).

В последние годы жизни Василий Николаевич часто болел, однако постоянно интересовался делами института и кафедры, консультировал аспирантов, продолжал заниматься творческой работой. В 1976 г. он завершает наброски своих размышлений «Прогноз – фантазия о качествах, которыми будет обладать новейшая сельскохозяйственная техника для полеводства». В видении дальнейшего развития сельскохозяйственной техники он отмечает, что увеличение производительности и других качеств техники в 7-9 раз по сравнению с существующими возможно при условии резкого повышения энерговооруженности механизатора, работающего на новейшей сельскохозяйственной технике; повышения энергонасыщенности перспективной техники; снижения затрат за счет корректив, внесенных в технологию возделывания зерновых; новых качеств возделываемых растений; со-



Рис. 4. Вручение Звезды Героя Социалистического Труда и ордена Ленина (1974)

Fig. 4. Awarding of the Star of the Hero of Socialist Labor and the Order of Lenin (1974)

кращения простоев из-за отказов, времени на техническое обслуживание; снижения затрат энергии и времени на управление агрегатом (АСУ); повышения комфорта на рабочем месте механизатора. Здесь же Василий Николаевич высказывает мысль о возможности применения силовых установок с использованием атомной энергии, лазерной техники в элементах сельскохозяйственных агрегатов при обработке почвы, уборке растений.

Энерговооруженность новейшей техники по сравнению с существующей может быть повышена до 2000 кВт (2720 л.с.). В этом случае силовая установка из тепловых двигателей должна состоять из четырех дизель-электрических агрегатов по 500 кВт каждый. Рассматривая достоинства и недостатки такой установки, Василий Николаевич убедительно показывает, что потери энергии при трансформации механической энергии в электрическую и наоборот будут компенсироваться исключением потерь механической энергии при неустановившихся нагрузках (10-20%), так как электро- и гидropередачи демпфируют колебания нагрузки. Кроме того, электроэнергия имеет существенные преимущества: удобство деления, передачи и управления потоками энергии, бесступенчатое регулирование скорости движения. В производственных условиях предпочтительны четыре установки на тракторные энергостанции для маневрирования мощностью в широких пределах. Для уменьшения веса автор рекомендует выполнять дизель-электрические установки в одном блоке, а для производства дизельных генераторов более активно использовать новые достижения в электромашиностроении, позволяющие снизить вес машин в 5-6 раз.

Оценивая актуальность «фантазий» В.Н. Болтинского о тракторах будущего мы видим, что хотя и существенно совершенствуются тракторы, ни один из показателей в наши дни не доведен до рекомендуемого значения (таблица).

Показатель	Прогноз В.Н. Болтинского (1976 г.)	Современные тракторы
Эксплуатационная мощность двигателя, кВт	2000	600
Диапазон рабочих скоростей, км/ч	До 20	9-12
Уровень шума в кабинах, дБ	50-60	80-85
Наработка на отказ, ч	Работа без поломок в течение сезона	135-290
Электронные средства контроля и управления	Полная автоматизация	Ограниченное применение автоматизации

Василия Николаевича отличали методичность, преданность делу, обязательность, порядочность на всех участках деятельности – в научных исследованиях, написании учебников, выполнении общественной работы, чтении лекций, общении со студентами (рис. 5).

Профессор Н.И. Клёнин вспоминал: «...никто не читал столь убежденно и так доходчиво. Его убежденность основывалась на знаниях, самоличной глубиной проработке теории многих разделов курса и экспериментальной ее проверке. Особенно ярко такой подход проявлялся в изложении работы двигателя при неустановившейся нагрузке. Методика этого исследования стала началом нового направления в земледельческой механике. Особое внимание Василий Николаевич уделял организационным формам



Рис. 5. В.Н. Болтинский на лекции со студентами
Fig. 5. V.N. Boltinsky delivering a lecture to students

лекций. График его работы был уплотнен до предела. Однако никакие причины не могли заставить его не то, что пропустить занятия, но даже позволить себе минутное опоздание на лекцию» [15].

Выводы. В результате исследований историко-научной литературы и инженерно-технических решений о становлении и развитии тракторостроения в России, определено, что важную роль в совершенствовании работы тракторных двигателей и машинно-тракторных агрегатов на неустановившихся режимах сыграл выдающийся ученый и испытатель в области сельскохозяйственного тракторостроения, академик ВАСХНИЛ, доктор технических наук, профессор, дважды лауреат Государственной премии, Герой социалистического труда Василий Николаевич Болтинский.

Жизнь и творчество Василия Николаевича Болтинского являются образцом человека, посвятившего себя науке, воспитанию инженерных и научных кадров. Памяти ученого в России проходит постоянно действующий научно-практический семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского» на родной кафедре тракторов и автомобилей, которой он руководил 20 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Василий Николаевич Болтинский: Сборник / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации]; сост.: Г.М. Кутьков, А.В. Богатырев. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2003. 176 с. EDN: QKVWSR.
2. Кутьков Г.М., Ерохин М.Н., Дидманидзе О.Н., Алипичев А.Ю. Академик ВАСХНИЛ Василий Николаевич Болтинский // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина. 2019. N1(89). С. 66-72. EDN: YXZTVZ.
3. Зайцева Н.Л., Рябова Н.Ю. Машинно-испытательная станция как база практической подготовки агроинженеров // Агроинженерия. 2023. Т. 25. N5. С. 78-83. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-78-83.
4. Оришев А.Б., Грачев А.Б. В.Н. Болтинский: биография по архивным материалам. Чтения академика В.Н. Болтинского. Москва, 25-26 января 2023 года. Т. 2. М.: ООО «Сам полиграфист». 2023. С. 76-81. EDN: RJBBMY.
5. Шаров В.В. Фрагменты истории отечественного тракторостроения. Технические очерки по тракторостроению в России. Книга II. Период Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. 2017. 144 с.
6. Анохин В.И., Богатырев А.В., Есин В.В. и др. История кафедры «Тракторы и автомобили». М.: ФГОУ ВПО МГАУ. 2004. 124 с.
7. Клёнин Н.И. Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. М. 82. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2005. 140 с.
8. Болтинский В.Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. М.: ОПИЗ Сельхозгиз. 1949. 216 с.
9. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора. М.: Машиностроение. 1980. 216 с.

10. Кутков Г.М. Теория трактора и автомобиля. М.: Колос. 1996. 287 с.
11. Izmailov, A.Yu., Tsench Yu.S., Lobachevsky Ya.P. The Federal Scientific Agro-engineering Center VIM: History of foundation and development. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. N3. 7-11. EDN: QWKDMO.
12. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., Tikhomirov A. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. N4. 1-19. DOI: 10.4018/IJEOE.2020100101.
13. Измайллов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М. и др. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. М.: ВНИИ механизации сельского хозяйства. 2013. 88 с.
14. Оришев А.Б. Грачев А.Б. В.Н. Болтинский и становление отечественного тракторостроения: монография. М.: Издательские решения. 2022. 172 с.
15. Балабанов В.И. Выдающиеся ученые МИИСП-МГАУ: История в лицах. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2010. 174 с. EDN: TRWPPB.

REFERENCES

1. Vasily Nikolaevich Boltinsky; comp.: G.M. Kutkov, A.V. Bogatyrev. Moscow: Rosinformagrotech, 2003. 176 (In Russian). EDN: QKVWSR.
2. Kutkov G.M., Erokhin M.N., Didmanidze O.N., Alipichev AYu. Academician of VASKHNIL Vasily Nikolaevich Boltinsky. *Bulletin MGAU named after V.P. Goryachkin*. 2019. No. 1(89). 66-72 (In Russian). EDN: YXZTVZ.
3. Zaitseva N.L., Ryabova N.Yu. Machine testing station as a base for practical training of agricultural engineers. *Agro-engineering*. 2023. Vol. 25. N5. 78-83 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-78-83.
4. Orishev A.B., Grachev A.B. V.N. Boltinsky: biography based on archival materials. Readings of Academician V.N. Boltinsky, Moscow, January 25-26, 2023. Vol. 2. Moscow: Sam Polygraphist LLC. 2023. 76-81 (In Russian). EDN: RJBBMY.
5. Sharov V.V. Fragments of the history of domestic tractor manufacturing. Technical essays on tractor manufacturing in Russia. Book II. The period of the Great Patriotic War 1941-1945. 2017. 144 (In Russian).
6. Anokhin V.I., Bogatyrev A.V., Esin V.V., et al. History of the Department of Tractors and Automobiles. Moscow: MGAU. 2004. 124 (In Russian).
7. Klenin N.I. Moscow State Agricultural Engineering University named after V.P. Goryachkina. M. 82. Moscow: Rosinformagrotech. 2005. 140 (In Russian).
8. Boltinsky V.N. Operation of a tractor engine under unsteady load. Moscow: OGIZ. 1949. 216 (In Russian).
9. Kutkov G.M. Traction dynamics of a tractor. Moscow: Mashinostroenie. 1980. 216 (In Russian).
10. Kutkov G.M. Theory of tractor and car. Moscow: Kolos. 1996. 287 (In Russian).
11. Izmailov A.Yu., Tsench Yu.S., Lobachevsky Ya.P. The Federal Scientific Agro-engineering Center VIM: History of foundation and development. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. N3. 7-11 (In English). EDN: QWKDMO.
12. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., Tikhomirov A. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. N4. 1-19 (In English). DOI: 10.4018/IJEOE.2020100101.
13. Izmailov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., et al. Concept of modernization of the fleet of agricultural tractors in Russia for the period until 2020. Moscow: All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization. 2013. 88 (In Russian).
14. Orishev A.B., Grachev A.B. V.N. Boltinsky and the formation of domestic tractor construction: monography. Moscow: Publishing solutions. 2022. 172 (In Russian).
15. Balabanov V.I. Outstanding scientists MIMESKH-MIISP-MSAU: History in person. Moscow: MGAU named after V.P. Goryachkin. 2010. 174 (In Russian). EDN: TRWPPB.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Ерохин М.Н. – постановка проблемы, научное руководство, подготовка рукописи статьи, литературный анализ;
Ценч Ю.С. – подбор литературных источников, визуализация, работа с текстом статьи;
Скорыходов Д.М. – работа с текстом статьи, постановка цели, формирование выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Erokhin M.N. – problem statement, scientific guidance, preparation of the manuscript, literature analysis;
Tsench Yu.S. – selection of literary sources, visualization, working on the manuscript text;
Skorokhodov D.M. – working on the manuscript, setting goals, forming conclusions.

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

09.01.2024

27.02.2024



Развитие средств механизации и автоматизации в молочном животноводстве

Юрий Алексеевич Цой,

доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: femaks@bk.ru;

Владимир Вячеславович Кирсанов,

доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН,
e-mail: kirvv2014@mail.ru;

Равза Анвяровна Мамедова,

кандидат технических наук,
ведущий специалист,
e-mail: femaks@bk.ru;

Сергей Владимирович Кирсанов,

аспирант,
e-mail: sergejkirsanovv@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали развитие технологий и технических средств механизации и автоматизации животноводства за период с 1930 года по настоящее время. (*Цель исследования*) Ввиду цикличности протекания процессов и неоднозначности современных трактовок влияния научного наследия необходимо изучить исторический опыт и вклад ученых в исследования и практическое создание средств механизации и автоматизации животноводства. (*Методы и материалы*) Проанализировали основные этапы развития технических средств машинного доения коров, начиная с создания первой советской трехтактной доильной машины ДА-3, вклад профильных институтов ВАСХНИЛ и отдельных ученых в разработку методики испытаний доильных аппаратов, создание и внедрение новых технических средств для электромеханизации на молочных фермах. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрели создание первых доильных залов: с параллельно-проходными станками, стационарного типа «елочка» (В.С. Краснов, В.Ф. Королев, В.П. Ларин, В.П. Похваленский, А.Н. Дормидонтов), подвижного карусельного зала типа «вращающаяся елочка», разработанного конструкторским бюро СибНИИсельского хозяйства (И.И. Тесленко, Н.В. Краснощеков, К.С. Шаповалов, Н.К. Вазенмиллер, А.В. Гольденфанг). (*Выводы*) Отметили актуальность и необходимость системного подхода при разработке системы машин по механизации животноводства, в которых принимал активное участие академик РАН Н.М. Морозов. Важным в развитии теории и практики процессов обслуживания животных стали разработка и создание технологии поточно-конвейерного обслуживания животных под руководством академика РАН Л.П. Кормановского. Выявили необходимость изучения опыта предшествующих поколений при создании современных образцов машин и оборудования, позволяющего избегать прямого копирования зарубежных образцов машин, а проводить собственные исследования и разработки с учетом накопленного опыта использования техники и технологий в российских условиях.

Ключевые слова: животноводство, электромеханизация, автоматизация, цикличность, этапы развития, исторический опыт, молочная ферма, трехтактный доильный аппарат «Волга», доильная установка с молокопроводом УДМ-100-200, доильные залы «елочка», «карусель», поточно-конвейерная технология, цифровизация, интеллектуализация, почетвертное доение, доильный робот.

■ **Для цитирования:** Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Мамедова Р.А., Кирсанов С.В. Развитие средств механизации и автоматизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 30-37. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-30-37. EDN: UDKOGD.

Scientific article

Evolution of Mechanization and Automation in Dairy Farming

Yuriy A. Tsoy,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
corresponding member of the RAS,
e-mail: femaks@bk.ru;

Vladimir V. Kirsanov,

Dr.Sc.(Eng.), professor, head of department,
corresponding member of the RAS,
e-mail: kirvv2014@mail.ru;

Ravza A. Mamedova,

Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: femaks@bk.ru;

Sergey V. Kirsanov,

Ph.D. student (Eng.),
e-mail: sergejkirsanovv@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows the development of technologies and tools of mechanization and automation in livestock farming for the period from 1930 to the present. (*Research purpose*) Given the cyclical nature of processes and the nuanced interpretations of scientific heritage, it is necessary to investigate the historical experience and contributions of scientists to the development and practical implementation of mechanization and automation tools in livestock farming. (*Methods and materials*) The paper examines the primary stages of mechanization and automation in cow milking, starting with the development of the first Soviet three-stroke milking machine DA-3. It considers the contributions made by specialized institutes of the All-Russian Academy of Agricultural Sciences and individual scientists in formulating testing methodologies for milking machines. Additionally, it explores the development and adoption of novel electromechanical tools for dairy farms. (*Results and discussion*) Considered in this paper are the pioneering efforts in the creation of the first milking parlors. These include the stationary herringbone type machines with a parallel-pass design, spearheaded by V.S. Krasnov, V.F. Korolev, V.P. Larin, V.P. Pokhvalensky, and A.N. Dormidontov, and the development of mobile carousel parlors of the «rotating herringbone» type, engineered by the design bureau of the Siberian Research Institute of Agriculture under the supervision of I.I. Teslenko, N.V. Krasnoshchekov, K.S. Shapovalov, N.K. Vazemiller, A.V. Goldenfang. (*Conclusions*) The paper notes the significance of adopting a systematic approach to the developing of machinery for livestock farming mechanization. This approach was actively pursued by N.M. Morozov, the member of the Russian Academy of Sciences. A significant milestone in the advancement of the theory and practice of animal husbandry processes was the pioneering work in developing and implementing technology for flow-conveyor animal service, headed by Member of the Russian Academy of Sciences L.P. Kormanovsky. The paper reveals the necessity of conducting a historical practices from previous generations. This approach helps to develop modern models of machinery and equipment and avoid mere replication of foreign designs. It also facilitates independent research and development efforts, incorporating insights from the accumulated experience of utilizing equipment and technologies in Russia.

Keywords: livestock farming, electromechanization, automation, cyclicity, stages of development, historical experience, dairy farm, three-stroke milking machine Volga, milking machine with a milk pipeline UDM-100-200, herringbone and carousel type milking parlors, flow-conveyor technology, digitalization, intellectualization, quarter milking, milking robot..

■ **For citation:** Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Mamedova R.A., Kirsanov S.V. Evolution of mechanization and automation in dairy farming. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 30-37 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-30-37. EDN: UDKOGD.

В области развития технологий и средств механизации животноводства решающее значение имело создание в 1930 г. Всесоюзного института механизации (ВИМ) и Всесоюзного научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). Это было связано с необходимостью электромеханизации трудоемких процессов в животноводстве на базе специализированных лабораторий ВИЭСХ. Впоследствии для лучшей координации и взаимодействия ВИМ и ВИЭСХ были объединены в единую структуру ВИМЭ, которая с небольшими перерывами просуществовала до 1948 г. [1].

В начале 1930-х годов на базе ВИЭСХ была организована первая в СССР лаборатория электромеханизации животноводства, которую возглавил инженер Н.М. Аронович. В тот же период под руководством одного из основателей института Валериана Семеновича Краснова был создан первый в стране опытный электрифицированный совхоз им. Фрунзе около г. Иваново-Вознесенска [2]. В этом совхозе 3300 коров были переведены на электродоение с использованием шведских машин «Альфа Лаваль», для уборки навоза применялись подвесные дороги и электрокары, для раздачи кормов – подвесные дороги. Были построены электрифицированные кормовой и молочный цеха, молоко и те-

лота облучались ультрафиолетовыми лучами, организован электро-ветеринарный кабинет. Для освоения земель под прифермский севооборот применялось электрокорчевание пней; семена кормовых культур подвергались УФ-облучению. Широко применялась электродная обработка для запаривания кормов: соломы, осоки, а при недостатке кормов – и древесных веток.

В 1930 г. в Тимирязевской академии профессор Георгий Иванович Бремер (ученик академика В.П. Горячкина) разработал теорию сепарирования, основанную на разности скоростей движения жировых шариков и плазмы молока в межтарелочном пространстве. Исходные предпосылки процесса заключались в том, что двигаясь по конической поверхности тарелок сепаратора сверху вниз, шарики молочного жира и обезжиренная плазма вследствие разной плотности разделяются под действием центробежной силы. Исследования движения молока и процесса отделения жира использовались при проектировании новых машин как фактор управления процессом сепарации [3].

Цель исследования: изучение исторического опыта и вклада ученых ВИЭСХ, ВИМЭ и ФНАЦ ВИМ в теоретическое обоснование, промышленное освоение, усовершенствование средств механизации и автоматизации животноводства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В середине 1930-х годов начались работы по созданию советской доильной машины. На основе сравнительных испытаний импортных доильных установок аналогом была выбрана модель одной германской фирмы с индивидуальными шариковыми пульсаторами для каждого доильного стакана. Однако, как вспоминает профессор Василий Филиппович Королев, выбор аналога оказался не совсем удачным, к тому же добавились проблемы с качеством изготовления на Пермском заводе. В связи с этим группа физиологов под руководством академика А.В. Леонтовича провела исследования и пришла к заключению о необходимости создания более физиологичной отечественной доильной машины. Коллективом инженеров (С.И. Белавенец, В.Ф. Королев, А.П. Макаров и др.) под общим руководством инженера Н.М. Ароновича была создана отечественная трехтактная доильная машина ДА-3 (рис. 1), отличавшаяся от зарубежных двухтактных аппаратов наличием допол-



Доктор технических наук, профессор, лауреат Сталинской премии (1949 г.) Василий Филиппович Королев, ВИЭСХ

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Stalin Prize laureate (1949) Vasily F. Korolev, VIESKH

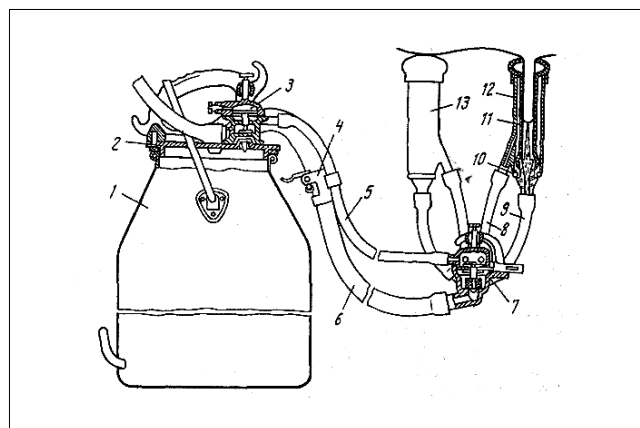


Рис. 1. Трехтактная доильная машина ДА-3 (автор В.Ф. Королев): 1 – доильное ведро; 2 – крышка ведра; 3 – пульсатор; 4 – зажим молочного шланга; 5 – воздушный шланг; 6 – молочный шланг; 7 – коллектор; 8 – вакуумный патрубок; 9 – молочный патрубок; 10 – соединительное кольцо; 11 – сосковая резина; 12 – гильза стакана; 13 – доильные стаканы

Fig. 1. Three-stroke milking machine DA-3 (author V.F. Korolev): 1 – milking bucket; 2 – bucket lid; 3 – pulsator; 4 – milk hose clamp; 5 – air hose; 6 – milk hose; 7 – collector; 8 – vacuum nozzle; 9 – milk pipe; 10 – connecting ring; 11 – nipple rubber; 12 – cup sleeve; 13 – milking cups

нительного такта отдыха [4].

Принцип работы этого аппарата подробно рассмотрен во всех учебниках и стал классическим примером для изучения и применения при проектировании новых конструкций отечественного доильного оборудования.

В 1933 г. под руководством Н.М. Ароновича (ВИЭСХ) прошло сравнительное испытание зарубежных и отечественных доильных машин по ме-

тодике, совместно разработанной ВНИИ животноводства, Московским ветеринарным институтом, ВИЭСХ и ВНИИ экспериментальной ветеринарии. По результатам испытаний трехтактная доильная машина была признана лучшей по физиологическим, клиническим и эксплуатационным показателям. Годом позже состоялось испытание отечественной доильной машины ДА-3 и *Alfa Laval*. Преимущества оказались на стороне советской модели, и она была рекомендована к промышленному производству. Аппарат ДА-3, получивший название «Волга», выпускается до настоящего времени.

С созданием крупных ферм и по планам электрификации страны требовалось расширить производство механизированной техники для животноводства. В предвоенные годы выполнялись работы по теории машин для приготовления кормов, по расчету доильных установок, гидравлического тарана, технико-экономическому обоснованию транспортных средств, энергообеспечению ферм (ветродвигатели, тепловые и газогенераторные установки).

Завод им. Шевченко (г. Софиевка, Украинская ССР) начал изготавливать машины по разработкам ВИМЭ: жмыходробилки, корне-клубнемои, корнерезки (конструктор А.П. Макаров), комбинированные соломо-силосорезки-шредеры СШ (М.Ф. Сушков), молотковые дробилки МД-300 (А.П. Макаров, Л.С. Ануров), кормозапарный агрегат ВИМЭ-ЗК-0,2 (В.И. Смирнова), а также двухвальцовые зернодробилки-плющилки ЗД и универсальные дробилки кормов и соломо-силосорезки «Близард» («УниверсалТ»). Винницкий мотороремонтный завод наладил производство по чертежам ВИМЭ подвесных дорог. На других предприятиях выпускались по документации ВИЭСХ и ВИМЭ автоматические привязи для коров и парные автопоилки (конструкции В.И. Калмыкова).

Сотрудники В.В. Боков, М.В. Калитаев и П.А. Савин изучали вопросы, связанные с поддержанием

температурно-влажностного режима (микроклимата) в коровнике, разработали основы расчета вентиляции конструкции ВИМЭ. Влияние ультрафиолетового облучения на рост, производительность и здоровье животных исследовала А.Е. Новикова и предложила первую конструкцию УФ-установок.

Все эти работы были обобщены членом-корреспондентом ВАСХНИЛ В.С. Красновым в книге «Механизация трудоемких работ в животноводстве». С помощью ВИМЭ и его Запорожского филиала в разных областях России и Украины были созданы показательные для того времени электромеханизированные молочные фермы. Необходимые машины и установки были поставлены на производство и можно было ожидать дальнейшего развития средств электромеханизации животноводства и углубления научно-исследовательских работ в этом направлении. Но из-за начала войны эти работы были полностью приостановлены, созданные фермы разрушены. С 1945 г. все пришлось начинать заново.

В 1948 г. был восстановлен Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), а в 1957 г. ВАСХНИЛ поручила институту возглавить научно-исследовательские работы по электрификации и механизации животноводства. Численность сотрудников ВИЭСХ увеличилась в 2 раза.

Результаты и обсуждение. В 1952 г. инженером В.П. Лариным был построен первый в СССР доильный зал с параллельно-проходными станками и отдельным станком для санитарной обработки вымени. В эти же годы по разработкам ВИЭСХ начали выпускать пастбищную доильную установку УДС-1 на Барнаульском станкостроительном заводе, которую после модернизации до настоящего времени выпускает АО «Кургансельмаш» под маркой УДС-3А.

В 1956 г. в ВИЭСХ началась широкомасштабная разработка и внедрение в разных регионах прогрессивного беспривязного содержания животных, что способствовало созданию новых машин и оборудования, прежде всего станочных доильных установок. В 1960 г. совместно с ВИСХ разработана и поставлена на производство на Ухтомском ремонтно-техническом заводе доильная установка «елочка» УДДЕ-16, УДДТ-10 (В.С. Краснов, В.Ф. Королев, В.П. Ларин, В.П. Похваленский, А.Н. Дормидонтов). Первая конвейерная доильная установка «карусель» конструкции Азово-Черноморского института механизации сельского хозяйства ЧИМСХ (А.С. Веприцкий, А.И. Смирнов, И.И. Тесленко) была запущена в Краснодарском крае в 1959 г. (рис. 2).

Первую в СССР доильную установку «карусель» построил в 1959 г. Иван Иванович Тесленко в колхозе «Ленинский путь» (артель им. Сталина, с. Киевское Крымского района Краснодарского края) [4].

Работая в Омске, И.И. Тесленко усовершенствовал конструкцию своей установки, применив впервые в мире способ «косого» расположения животных на доильном конвейере (авторское свидетельство № 163470, приоритет с 02.01.1962 г.). Это решение стали широко использовать производители оборудования, такие как *DeLaval*, *Westfalia Surge*, *BouMatic*.

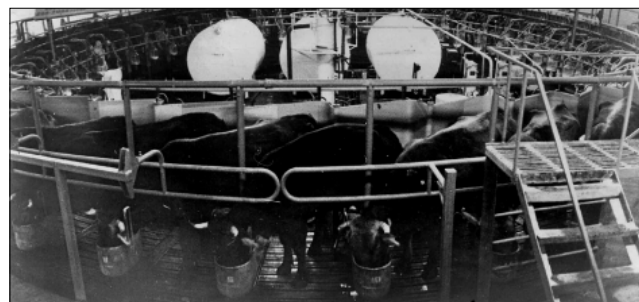


Рис. 2. Первая конвейерная доильная установка типа «карусель»

Fig. 2. The first carousel-type conveyor milking machine

В 1960 г. в Омском совнархозе начали серийно производить первую в мире конвейерную установку с косым расположением доильных станков типа «елочка» КДУЕ-16 «Омичка», разработанную конструкторским бюро Сибирского НИИ сельского хозяйства (И.И. Тесленко, Н.В. Краснощеков, К.С. Шаповалов, Н.К. Вазенмиллер, А.В. Гольденфанг).

Была также разработана передвижная доильная установка «карусель» ПДКТ-12, позволяющая механизировать процесс доения на небольших фермах без значительных капитальных вложений. Установка была собрана в условиях Павловской «Райсельхозтехники» (Нижегородская область) и успешно эксплуатировалась на летних лагерях животноводческого комплекса «Буревестник» (п. Кудьма Богородского района Нижегородской области).

В 1960-е годы накопленный опыт позволил ВИЭСХ совместно с другими научно-исследовательскими учреждениями разработать и предложить для производства первую систему машин для животноводства, в том числе для молочных ферм. В состав системы были включены: несколько типов доильных установок; два типа прицепных кормораздатчика ПТУ-10К и стационарные ленточные транспортеры-раздатчики корма ТВК-80 с устройством автоматической загрузки; скребковые и штанговые транспортеры для уборки навоза; машины для приготовления и погрузки кормов; несколько типоразмеров насосных установок для водоснабжения и автопоилки.

Надо отметить, что основная номенклатура первой системы машин по существу сохранилась до настоящего времени. В разработку всех систем машин для животноводства внес существенный вклад академик РАН Николай Михайлович Морозов [5].

Развитие средств автоматизации позволили создать в СССР в 1964 г. силами коллектива инженеров оборонного завода «Сатурн» под руководством М.М. Гойхенберга первую автоматизированную доильную установку УДА-10 «Комсомолка» с десятью проходными станками типа «елочка» (рис. 3).



Рис. 3. Первая автоматизированная отечественная доильная установка УДА-10 «Комсомолка» с доильными станками типа «елочка» (1964 г.)

Fig. 3. The first domestic automated milking unit UDA-10 «Komsomolka» (1964) equipped with herringbone milking machines

Установка включала десять манипуляторов с электронными блоками и датчиками-счетчиками молока и кресло оператора, передвигающееся по рельсам. Технический уровень автоматизации установки для того времени был очень высоким. Однако технология автоматизированного доения и надежность электронных средств в условиях фермы были еще недостаточно отработаны. Основные идеи, заложенные в УДА-10, были реализованы позднее, в 1980-х годах [6].

В 1965 г. ВИЭСХ создана первая в СССР ферма «прямых» связей, где в составе единой поточной линии осуществлялись процессы доения, обработки и фасования молока в тару разового пользования. Молоко из вымени животного попадало на стол потребителю в расфасованном виде через 2 часа вместо 2-3 суток (Г.И. Бремер, М.Е. Бейлис, В.А. Радько, Н.А. Просолупов, Д.В. Вахромеев, В.Е. Кочетов, В.К. Манин и др.).

Строились крупные молочные фермы с привязным и беспривязным содержанием коров на Украине, в Узбекистане (М.Е. Бейлис, В.А. Радько, Ю.А. Репнев и др.), Краснодарском крае (В.С. Краснов, И.И. Тесленко, А.Н. Дормидонтов и др.). Во многом именно работы ВИЭСХ предопределили формирование известного Постановления ЦК КПСС, Совмина СССР от 16.04.1971 № 226 (ред. от 13.01.1989 г.) «О развитии производства продуктов животноводства на промышленной основе».

Существенный вклад в развитие теории и прак-

тики поточно-конвейерного обслуживания животных внес академик РАН Леонид Петрович Кормановский. Под руководством и при непосредственном его участии разработаны поточно-конвейерная технология содержания молочного скота [7], методические рекомендации по определению оптимальных комплексов машин и технологических линий для животноводческих ферм, различные конструкции манипуляторов для доения коров в стойлах [8]. Технология поточно-конвейерного обслуживания животных, апробированная в 1969 г. в совхозе «Зеленецкий» Коми АССР, позволила снизить затраты труда на 1 ц молока в 2,5 раза с 8,9 до 3,8 человеко-часов.

В 1970-е годы в ВИЭСХ старший научный сотрудник Н.Б. Керимов предложил низковакуумную систему доения. В ней предусматривался периодический выпуск воздуха в коллектор в такте сжатия, снижение и стабилизацию вакуума под соском при доении. Аналогичные решения использовались в дальнейшем в установках фирмы Westfalia Separator (BioMilker®). В 1980-е годы низковакуумная система была внедрена на всех типах серийных доильных установок [9].

В 1978-1984 гг. под руководством Юрия Алексеевича Цоя разработана комбинированная технология, обеспечивающая повышение в 1,4-1,6 раза производительности труда при наиболее распространенном привязном содержании коров за счет использования автоматизированных доильных установок в сочетании с автоматической привязью животных (Ю.А. Цой, А.И. Зеленцов, В.М. Радоманский, А.И. Алпатов). На базе этой разработки были освоены автоматические привязи ОСП-Ф26, автоматизированные доильные установки УДА-8А, УДА-16А, автоматический манипулятор доения МДФ-1 [13].

В 1988 г. коллектив института и других организаций под руководством Ю.А. Цоя разработал конкурсный проект автоматизированной безотходной фермы «Агроноосфера-2000», который вошел в число победителей (Ю.А. Цой, А.И. Зеленцов, И.Э. Мильман, А.В. Демин, В.В. Челноков, Е.Б. Билибин, В.М. Усаковский, Е.М. Клычев и др.). В рамках проекта впервые в СССР были созданы транспортный кормораздающий робот ТКР-0505 и автоматический кормораздатчик АРК-200. В работу над проектом были привлечены свыше 10 организаций, в том числе оборонного комплекса [10].

В 2001 г. решением Президиума Россельхозакадемии при ВИЭСХ создан Межотраслевой научно-технический центр по механизации и автоматизации молочных ферм (МНТЦ ВИЭСХ «Техника для молока») под руководством академика РАСХН Л.П. Кормановского. Характерной особенностью развития животноводства в постперестроечный период яви-

лось резкое усиление конкуренции на рынке техники, прежде всего за счет активизации иностранных фирм. В этих условиях резко повысились требования к конкурентоспособности разработок.

За короткий период ВИЭСХ и НПП «Фемакс» были разработаны и внедрены в производство современные доильные установки с молокопроводом из нержавеющей стали УДМ-100, УДМ-200 (Цой Ю.А., Зеленцов А.И., Кирсанов В.В.), модульные доильные установки «елочка» – УДЕ-М (Цой Ю.А., Зеленцов А.И., Седов А.М), полуавтоматические установки для фасования молока «Фемапак-300», «Фемапак-500» (Челноков В.В., Карташов С.Г), современное стойловое оборудование для беспривязно-бوكсового содержания коров (рис. 4).



Рис. 4. Доильные установки с молокопроводом из нержавеющей стали УДМ-100-200 для привязного содержания (2001 г.)

Fig. 4. UDM-100-200 milking machines equipped with a stainless steel milk line, designed for tie-stall housing systems (2001)

На основе исследований процесса импульсной модуляции потока молока на доильных установках создан многофункциональный цифровой блок управления «Фематроник-С», не имеющий зарубежных аналогов (Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Челноков В.В.). Помимо управления молочным насосом, определяется общее количество надоенного молока и при необходимости осуществляется диагностика доильной установки. Для доильных установок с молокопроводом разработан учетно-транспортный блок группового учета молока при минимальном гидромеханическом воздействии [10]. По критерию «цена-качество» УДМ-100-200 признаны лидером среди аналогичных установок, в том числе импортных, награждены золотыми и серебряными медалями международных выставок. УДМ-100 и УДМ-200 успешно работают в 23 регионах России, включены в Госреестр РФ для поставок оборудования по лизингу.

Конструкция доильных установок «елочка» позволяет поэтапно расширять функциональные возможности от простейшего варианта, обеспечивающего только автоматическое додаивание и снятие доильных стаканов, до вариантов с АСУТП и си-



Рис. 5. Модульные доильные установки «елочка» УДЕ-М для беспривязного содержания (2005 г.)

Fig. 5. UDE-M modular herringbone type milking machines, designed for loose housing systems (2005)

стемой компьютерного управления стадом.

В отделе механизации и автоматизации животноводства после объединения в 2016 г. институтов ВИМ, ВИЭСХ, ГОСНИТИ в единый Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ с 2019 г. ведутся работы по созданию доильного робота и автоматизированных манипуляторов с почетвертным доением коров для доильных залов типа «елочка» и «карусель» с внутренним доением (рис. 6).



Рис. 6. Автоматизированный доильный модуль с интеллектуальным почетвертным управлением процессом доения для залов «елочка», «карусель» с внутренним доением (2019 г.)

Fig. 6. Smart quarter milking module, suitable for herringbone and carousel milking parlors (2019)

Впервые разработан унифицированный автоматизированный доильный модуль с манипулятором и интеллектуальной системой управления процессом доения по четвертям вымени коровы, обеспечивающей управляемое стимулирующее электропульсаторами почетвертное доение, индивидуальное измерение потока молока и удоя с определением

температуры и электропроводности молока по каждой четверти вымени, индивидуальное отключение доильных стаканов, явившийся глубокой модернизацией манипулятора МДФ-1 [11]. Автоматизированный манипулятор апробирован на учебной ферме РГАУ-МСХА, его внедрение обеспечит снижение заболеваний коров маститом и их преждевременную выбраковку на 25-30%, повышение продуктивного долголетия животных до пяти лактаций.

Впервые в отечественной практике во ФНАЦ ВИМ создан экспериментальный образец доильного робота (рис. 7) с расширенными функциональными возможностями по почетвертному контролю процесса доения (скорость потока, удой, электропроводность молока, жир, белок, соматика), определению биометрических характеристик сосков и вымени коров с использованием 3D TOF камеры (форма, расположение, координаты), манипулятору доения повышенной маневренности с увеличенной зоной обслуживания и уменьшенной зоной безопасности [12].

Разработаны цифровые интеллектуальные технологии и технические средства управления процессами доения в залах типа «карусель», проведением бонитировочных работ с использованием систем видеонаблюдения. Предложена инновационная система определения качества молока в потоке при доении (жир, белок, соматика) на основе лазерно-оптических технологий, интеллектуальная система контроля физиологического состояния КРС с применением датчиков-болюсов. Разработан мобильный робот-пододвигатель корма для обслуживания кормового стола и др.

Выводы. Ретроспективный анализ развития технических средств механизации и автоматизации животноводства показал необходимость изучения исторического опыта предшествующих поколений



Рис. 7. Экспериментальный образец доильного робота
Fig. 7. Experimental prototype of a milking robot

при создании современных машин и оборудования.

При создании новых машин следует избегать прямого копирования зарубежных образцов, а проводить собственные исследования и разработки с учетом исторического опыта предшественников и особенностей использования техники и технологий в российских условиях

Исследования должны опираться на системный подход, представляющий современную автоматизированную или роботизированную ферму в качестве сложной биомашинной системы, включающей частично или полностью автономно работающие локальные подсистемы, которые выполняют конкретные технологические процессы обслуживания животных и взаимодействуют между собой.

Разработка экспериментальных образцов машин не должна ограничиваться имитационными и лабораторными исследованиями, а проходить полноценные хозяйственные испытания, позволяющие наиболее полно оценить достоинства и недостатки созданной техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цой Ю.А. Становление и развитие исследований по механизации и автоматизации животноводства в России // *Вестник ВИЭСХ*. 2008. N1(3). С. 39-49.
2. Лачуга Ю.Ф., Кирсанов В.В. Анализ цикличности развития техники и технологий в различных технологических укладах на примере молочного животноводства // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. N2. С. 54-58. DOI: 10.31857/S2500262721020113. EDN: XPCDXT.
3. Морозов Н.М. Направления развития системы машин для животноводства // *Вестник ВНИИМЖ*. 2019. N4(36). С. 7-11.
4. Тесленко И.И., Тесленко И.Н., Тесленко И.И. Стационарная поточно-конвейерная доильная установка ДКТ-50 // *Вестник академии знаний*. 2016. N17(2). С. 6-9.
5. Морозов Н.М. Развитие механизации и автоматизации выполнения процессов в животноводстве // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N2 (42). С. 93-101. DOI: 10.51794/27132064-2021-2-93. EDN: ILECCB.
6. Стребков Д.С., Молоснов Н.Ф., Коршунов А.Б. История Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства // *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. N2 (119). С.10-16. EDN: PXCYNM.
7. Кормановский Л.П. Опыт применения поточно-конвейерной технологии обслуживания коров (из истории отечественной науки) // *Вестник ВНИИМЖ*. 2019. N2 (34). С. 28-32.
8. Текучев И.К., Кормановский Л.П. Модернизация ферм – основа технической политики в молочном скотовод-

стве // *Вестник ВНИИМЖ*. 2018. N1 (29). С. 74-88. EDN: YTESVC.

9. Цой Ю.А. К 115-летию Валериана Семеновича Краснова – основоположника науки об электромеханизации животноводства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N2(17). С. 8-11. EDN: WFCBPT.
10. Цой Ю.А., Баишева Р.А., Танифа В.В. и др. Ретроспективный анализ и сравнительная оценка беспривязного и привязного содержания коров. Мифы и реалии // *Вестник ВНИИМЖ*. 2018. N3(31). С. 37-43. EDN: UZPLLW.
11. Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. Историко-

аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N1. С. 11-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18. EDN: BJDTTU.

12. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Шилин Д.В. и др. Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном манипуляторе доения // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. N1. С. 128-135. DOI:10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135.

REFERENCES

1. Tsoi Yu.A. Formation and development of research on mechanization and automation of animal husbandry in Russia. *Vestnik VIESKH*. 2008. N1(3). 39-49 (In Russian).
2. Lachuga Yu.F., Kirsanov V.V. Analysis of the cyclical development of equipment and technologies in various technological structures on the example of dairy farming. *Russian Agricultural Sciences*. 2021. N2. 54-58 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262721020113. EDN: XPCDXT.
3. Morozov N.M. Directions of the livestock machine system development. *Journal of VNIIMZH*. 2019. N4(36). 7-11 (In Russian).
4. Teslenko I.I., Teslenko I.N., Teslenko I.I. Stationary flow-conveyor milking machine DKT-50. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2016. N17(2). 6-9 (In Russian).
5. Morozov N.M. Development of mechanization and automation processes implementation in livestock. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021. N2 (42). 93-101 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-2-93. EDN: ILECCB.
6. Strebkov D.S., Molosnov N.F., Korshunov A.B. The All-Russian Scientific Research Institute for Electrification of Agriculture: history. *Alternative Energy and Ecology*. 2013. N2 (119). 10-16 (In Russian). EDN: PXCYNM.
7. Kormanovsky L.P. The experience of cows service flow-conveyor technology's application (from the Russian science history). *Journal of VNIIMZH*. 2019. N2 (34). 28-32 (In Russian).
8. Tekuchev I.K., Kormanovsky L.P. The farms modernization – is the basis of technical policies in dairy cattle breeding. *Journal of VNIIMZH*. 2018. N1 (29). 74-88 (In Russian). EDN: YTESVC.
9. Tsoi Yu.A. On the 115th anniversary of Valerian Semenovich Krasnov, the founder of the science of electromechanization of animal husbandry. *Innovations in Agriculture*. 2016. N2(17). 8-11 (In Russian). EDN: WFCBPT.
10. Tsoi Y.A., Baisheva R.A., Tanifa V.V. et al. The retrospective analysis and comparative evaluation of the cows' tied and free tied keeping. Myths and realities. *Journal of VNIIMZH*. 2018. N3(31). 37-43 (In Russian). EDN: UZPLLW.
11. Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. Historical and analytical assessment of automation and robotization for milking processes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 11-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18. EDN: BJDTTU.
12. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Shilin D.V., et al. Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021. Vol. 22. N1. 128-135 (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Цой Ю.А. – научное руководство, ретроспективная оценка исследователей, внесший наиболее значительный вклад в исследуемый процесс,

Кирсанов В.В. – формулирование основной концепции статьи, критический анализ и доработка текста,

Мамедова Р.А. – участие в написании текста статьи.

Кирсанов С.В. – участие в написании текста статьи, подборе и анализе литературы.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Tsoi Yu.A. – scientific guidance, a retrospective assessment of the researchers who made the most significant contribution to the process under study;

Kirsanov V.V. – formulation of the main concept of the article, critical analysis and revision of the text;

Mamedova R.A. – participation in writing the text of the article;

Kirsanov S.V. – participation in writing the text of the article, selection and analysis of 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

10.01.2024

27.02.2024



Академик Д.Н. Прянишников и отечественная школа агрохимиков

Юлия Сергеевна Ценч¹,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Иван Вадимович Сидоров²,
преподаватель колледжа,
младший научный сотрудник,
e-mail: nit123@yandex.ru

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

²Гжельский государственный университет, Московская область, Российская Федерация

Реферат. Отметим особую роль академика Дмитрия Николаевича Прянишникова в истории развития отечественного сельского хозяйства. С именем этого ученого связано введение в 1924 году в научный оборот понятия химизации сельского хозяйства. Как последователь Ж.Б. Буссенго, Д.И. Менделеева, К.А. Тимирязева и других великих ученых, Дмитрий Николаевич Прянишников не только выдвинул принцип, но и сформировал научно-исследовательскую программу химизации, создал необходимые кадровые условия и мужественно отстаивал ее перед оппонентами в 1930-1940-е годы. (*Цель исследования*) Проанализировать научное наследие и биографию академика Д.Н. Прянишникова в контексте развития химизации в отечественном сельском хозяйстве. (*Материалы и методы*) Изучили монографии, нормативно-правовые акты, публикации ученых с использованием биографического, хронологического, генетического и типологического методов историко-научного исследования (*Результаты и обсуждение*) Показали, что феномен личности Д.Н. Прянишникова в истории науки состоит как в собственных исследовательских успехах, так и формировании традиции в отечественной агрохимии. Это проявилось в организаторской и педагогической деятельности ученого. Выделили два поколения непосредственных учеников и последователей выдающегося агрохимика. (*Выводы*) Академик Д.Н. Прянишников придал агрохимии в нашей стране системный подход и по праву признан основателем национальной научной школы. Современные исследователи, сохраняя преемственность, продолжают работы по научному обеспечению химизации сельского хозяйства и вносят свой вклад в продовольственную безопасность страны и фундаментальные знания о живом.

Ключевые слова: Дмитрий Николаевич Прянишников, история науки, агрохимия, физиология растений, химизация сельского хозяйства, аграрное образование.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Академик Д.Н. Прянишников и отечественная школа агрохимиков // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 38-45. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-38-45. EDN: USGVFF.

Scientific article

Academician D.N. Pryanishnikov and the Russian National Research School of Agrochemistry

Yuliya S. Tsench¹,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Ivan V. Sidorov²,
college lecturer, junior researcher

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

²Gzhel State University, Moscow region, Russian Federation

Abstract. The paper emphasizes the pivotal role played by Academician Dmitry Nikolaevich Pryanishnikov in the history of domestic agriculture development. His name is indelibly associated with the introduction of the agriculture chemicalization concept in 1924. Being a follower of such scientists as J.B. Boussingault, D.I. Mendeleev, and K.A. Timiryazev, Dmitry Nikolaevich Pryanishnikov not only proposed the chemicalization principle but also formed a comprehensive research program for its implementation. Moreover, he created necessary educational conditions for specialists and courageously defended his doctrine against the criticism of his opponents in the 1930-1950s. (*Research purpose*) The paper aims to analyze the scientific heritage and biography of Academician D.N. Pryanishnikov in the context of the domestic agriculture chemicalization. (*Materials and methods*) The analysis relies on scrutinizing scientific monographs, legal documents, and other publications utilizing biographical,

chronological, genetic and typological methods of historical and scientific research. (*Results and discussion*) The findings show that Pryanishnikov's significance in the history of science stems from both his personal research achievements and his foundational role in establishing the domestic tradition of agrochemistry. This influence was evident in his organizational and pedagogical performance. The study identifies two distinct generations of direct students and followers of this eminent agricultural chemist. (*Conclusions*) Academician D.N. Pryanishnikov elevated agrochemistry in our country to a systematic discipline, rightfully earning recognition as the founder of the national scientific school. Contemporary researchers, who maintain academic and ideological continuity with him, persist in advancing scientific efforts to support the chemicalization of agriculture. In doing so, they make significant contributions to the nation's food security and enhance fundamental knowledge about living organisms.

Keywords: Dmitry Nikolaevich Pryanishnikov, history of science, agricultural chemistry, plant physiology, chemicalization of agriculture, agricultural education.

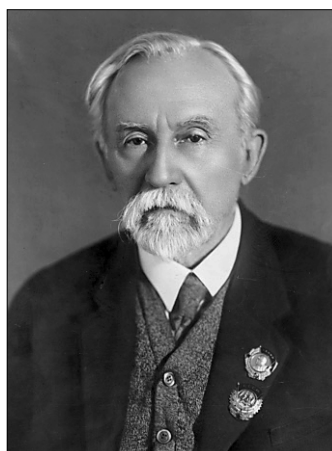
■ **For citation:** Tsench Yu.S., Sidirov I.V. Academician D.N. Pryanishnikov and the Russian national research school of agrochemistry. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 38-45. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-38-45. EDN: USGVFF.

Наследие выдающегося русского агрохимика, биохимика и физиолога растений Дмитрия Николаевича Прянишникова представляет значительный интерес для исследователей истории отечественной науки и практики сельского хозяйства. Д.Н. Прянишников с полным основанием можно назвать патриархом советской научной школы в агрономической химии. Его разносторонний вклад признан не только как физиолога растений, биохимика, теоретика и практика химизации сельского хозяйства, но и как реформатора опытного дела в агрохимии и аграрном образовании.

Цель исследования – проанализировать научную биографию академика Д.Н. Прянишникова в контексте развития химизации отечественного сельского хозяйства.

Материалы и методы. При подготовке статьи использовались монографии, нормативно-правовые акты, собрания сочинений и отдельные публикации выдающихся ученых. Обработка полученных данных проведена с использованием биографического, хронологического, генетического и типологического методов историко-научного исследования, предполагающих изучение роли персоналий с учетом временной последовательности и причинно-следственных связей, а также выявлением однородных групп.

Результаты и обсуждение. Дмитрий Николаевич Прянишников родился в 1865 г. в городе Кяхте (современная Республика Бурятия) в семье купца 1-й гильдии. Получил классическое образование в гимназии и поступил на физико-математический факультет Императорского Московского университета. Первоначальной научной специализацией была химия, которую Д.Н. Прянишников осваивал под общим руководством профессора В.В. Марковникова (1838-1904) и его сотрудников, в том числе М.И. Коновалова (1858-1906) и И.А. Каблукова (1857-1942). Через своих педагогов Д.Н. Прянишников является научным «внуком» одновременно Д.И. Мен-

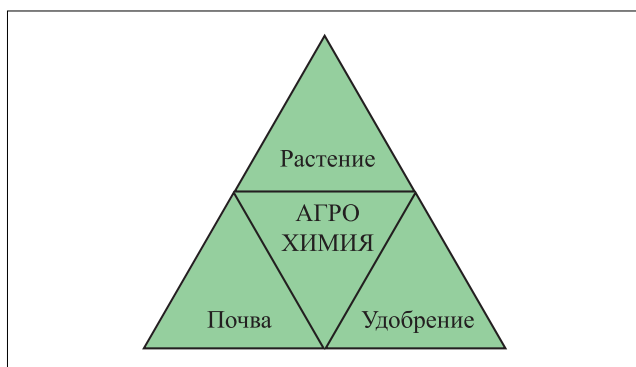


Академик Дмитрий Николаевич Прянишников (1865-1948)
Academician Dmitriy Nikolaevich Pryanishnikov (1865-1948)

делеева и А.М. Бутлерова. В свою очередь, их академическая преемственность восходит к одному из основоположников агрохимии Ю. Либиху. Через своего главного наставника К.А. Тимирязева, знакомство с которым стало определяющим, Д.Н. Прянишников связан и с другим классиком новой науки Жаном Батистом Буссенго. Физиологический подход к агрохимии окажется молодому русскому ученому наиболее близким. К периоду обучения в Московском университете относится первый агрохимический труд Д.Н. Прянишникова «Современное положение вопроса о происхождении чернозема».

Несмотря на перспективу успешной карьеры в рамках школы В.В. Марковникова, после выпуска Д.Н. Прянишников со своим товарищем, будущим известным агрохимиком П.С. Коссовичем (1862-1915) поступают в Петровскую сельскохозяйственную академию. На новом месте учебы наставниками Д.Н. Прянишникова наряду с К.А. Тимирязевым были патриарх русского земледелия И.А. Стебут (1833-1923), агрохимик, ученик А.М. Бутлерова и Д.И. Менделеева Г.Г. Густавсон (1843-1908), экономист А.Ф. Фортунатов (1856-1925).

По окончании учебы в 1889 г. Д.Н. Прянишников остается в академии для исследовательской и преподавательской работы. В 1892 г. его направляют в двухлетнюю зарубежную командировку. В Германии он работает у Роберта Коха (1858-1922), во Франции у Эмиля Дюкло (1840-1904) – соратника Луи Пастера, в Швейцарии у Эрнста Шульце (1840-1912) [1]. Эта поездка сыграла знаковую роль в окончательном самоопределении Д.Н. Прянишникова как ученого. В 1896 и 1900 гг. он защищает соответственно магистерскую и докторскую диссертации по метаболизму растений. Питание растений и способы его оптимального обеспечения для повышения эффективности растениеводства стали магистральной темой научной деятельности Д.Н. Прянишникова как химика, био- и агрохимика, физиолога растений и экономиста. Круг вопросов, которыми занимался ученый, иллюстрирует предложенная им схема питания растений – так называемый «треугольник Прянишникова».



Классическая система питания основывается на взаимодействии трех составляющих (почва, удобрения и само растение), в которой центральное место уделяется корневому питанию. Удобрения вносятся в почву, заделываются и используются растением по мере необходимости. В наше время в эту схему включают также климатический фактор.

Д.Н. Прянишников установил общие черты обмена азотистых веществ у растений и животных, разработал теорию азотного питания растений (1916 г.). Так появилась знаменитая формула «аммиак – это альфа и омега в обмене азотистых веществ у растений» и идея о применении аммиака в качестве удобрения. Эти фундаментальные изыскания позволили в дальнейшем обосновать применение также фосфорных, калийных удобрений, известкования почв, логическим завершением стала высказанная ученым в 1924 г. (столетие назад) идея химизации сельского хозяйства.

Основными направлениями работ Д.Н. Прянишникова являлись:

- обоснование использования солей аммония и недооцененных в тот период фосфоритов в качестве удобрений, разработка форм и методики их

применения. Изучались также калийные соли;

- химическая мелиорация (фосфоритование, известкование кислых почв, гипсование солонцов);
- применение органических и местных удобрений;
- совершенствование методики агрохимических исследований на всех уровнях;
- технологические аспекты производства минеральных удобрений.

Д.Н. Прянишников довел до логического завершения труды М.Г. Павлова, И.А. Стебута, А.Н. Энгельгардта и Д.И. Менделеева по развитию опытного дела в России, обеспечив к 1941 г. создание Географической сети полевых опытов с удобрениями [2]. По своему значению Географическая сеть сопоставима с Вавиловской коллекцией культурных семян в генетике и селекции. Сеть не имела аналогов в мире по охвату и стала источником информации для создания будущего плана развития химической промышленности в масштабе страны, скоординированного с нуждами земледелия.

Вопросами технологии производства минеральных удобрений Д.Н. Прянишникову пришлось заниматься самому в силу недостатка к началу XX века необходимых специалистов. В ходе этих работ стали формироваться творческие связи Д.Н. Прянишникова с Я.В. Самойловым, известным геологом и учеником В.И. Вернадского [3].

Постановка проблемы химизации сельского хозяйства открывает экономическую сторону научного наследия Д.Н. Прянишникова. В его трудах нашло развитие положение Д.И. Менделеева о взаимосвязи промышленности и сельского хозяйства, а выполненные под его руководством экономические обоснования были учтены в важнейших государственных решениях [4]. Как член Госплана СССР Дмитрий Николаевич активно участвовал в работе Комитета по химизации народного хозяйства. В публицистической статье «Мальтус и Россия» (1927) Д.Н. Прянишников развивает тезис о том, что Россия, даже если каждые 50 лет ее население будет удваиваться, может при правильной организации сельского хозяйства уверенно обеспечивать себя продовольствием, используя достижения агрохимии, земледелия и растениеводства.

Д.Н. Прянишников активно участвовал в создании и развитии сразу нескольких научных организаций: Научного института по удобрениям (впоследствии НИУИФ имени Я.В. Самойлова); Центрального научно-исследовательского института сахарной промышленности (ЦИНС); Всесоюзного института удобрений, агротехники и агропочвоведения, ныне ВНИИ агрохимии, носящего его имя и сохраняющего научные традиции. Дмитрий Николаевич инициировал организацию секции агрохимии и химизации земледелия ВАСХНИЛ как ко-

ординирующей структуры. В наше время это направление продолжает секция земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства Отделения сельскохозяйственных наук РАН.

С деятельностью академика Д.Н. Прянишникова связан драматичный период как в его биографии, так и в отечественном сельском хозяйстве. Несмотря на деятельную поддержку и заинтересованность советского руководства, идею химизации сельского хозяйства пришлось отстаивать не менее трех с половиной десятилетий.

Главным оппонентом оказался соученик Д.Н. Прянишникова и его коллега академик В.Р. Вильямс (1863-1939). Пройдя схожий путь профессионального становления, В.Р. Вильямс формировался как агроном-почвовед, последователь школы генетического почвоведения, основанной классиком науки о почвах В.В. Докучаевым. Ведущая роль в концепции В.Р. Вильямса отводилась структуре почвы, как залогом высоких урожаев, и всячески подчеркивалось доминирование биологических факторов почвообразования. Наиболее важной практической мерой Вильямс и его последователи считали массовые посевы многолетних бобовых и злаково-бобовых травосмесей, поскольку при разложении их корневых остатков образуются в значительных количествах азот и гумус. Признавая значение работ Ж.Б. Буссенго и Ю. Либиха, сторонники такой концепции рассматривали агрохимию как устаревшее направление, не учитывающее прежде всего достижения в микробиологии (поэтому почвоведение является, по мнению Вильямса, биологической наукой).

Д.Н. Прянишников энергично возражал критикам, их попыткам дискредитировать агрохимическую школу и противопоставить биохимию «минеральной агрохимии» [5]. Сам академик никогда не считал применение минеральных удобрений исчерпывающей мерой (известен его афоризм, что избыток удобрений не заменяет недостаток знаний). Д.Н. Прянишников в своих работах «Непризнанный Стассфурт» и «Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях» призывал не дожидаться запуска химических производств, а максимально использовать местные удобрения. В целом различия подходов противоборствующих школ приведены в *таблице 1*.

Вторым хронологически и не менее опасным противником агрохимической школы была так называемая мичуринская агробиология, «учение», которое развивалось под руководством академика Т.Д. Лысенко (1898-1976). Подобно Вильямсу, он делал акцент на экологических методах регулирования агроценозов, а впоследствии взял его идеи на вооружение, пытаясь сформулировать собственную «биологическую теорию питания растений». При этом Т.Д. Лысенко не был столь категоричен в

Таблица 1

Table 1

Сопоставление основных положений школ В.Р. Вильямса и Д.Н. Прянишникова
COMPARISON OF V.R. WILLIAMS AND D.N. PRYANISHNIKOV CONCEPTS

Школа В.Р. Вильямса	Школа Д.Н. Прянишникова
Возможна и единственно необходима универсальная система земледелия – травопольная	Универсальная система земледелия невозможна Необходимы научное обоснование и разработка зональных систем земледелия на основе максимально полного учета местных особенностей
Всегда необходимо сохранение почвенной структуры	Высокие дозы удобрений и правильная агротехника дают положительные результаты даже при изменении макроструктуры почвы в разумных пределах
Лимитирующим фактором является недостаток не химических элементов, а воды. Без нее минеральные удобрения бесполезны	Опытами доказано, что, несмотря на убывание действия удобрений в южном направлении, оно и на юге не является нулевым. При этом удобренные растения эффективнее используют влагу
Удобрение растений, а не почвы	Потребность почв в питательных веществах показана в ходе многочисленных и разнообразных опытов
Агрохимия («минеральная», по Вильямсу) – устаревшая и избыточная сущность Химизация сельского хозяйства – это «омертвление огромных народных средств»	Агрохимия – неотъемлемая естественнонаучная основа земледелия Химизация сельского хозяйства – необходимый процесс, значение которого выходит за рамки отрасли и является стратегическим

отношении минеральных удобрений, признавая, что они нужны наравне с сохранением структуры почв, однако в ином формате, чем предлагалось школой Д.Н. Прянишникова. В известной степени Т.Д. Лысенко вернулся к идее полувековой давности – созданию искусственного чернозема путем смешивания навоза с квасцами и глиноземом, предложенной Н.П. Заломановым в 1883 г. Достаточно подробный анализ агрохимических инициатив Т.Д. Лысенко провел биолог и историк науки Ж.А. Медведев [6].

Отражая нападки, Д.Н. Прянишников открыто критиковал их лидера за низкий научный уровень и боролся за спасение своего любимого ученика Н.И. Вавилова, ходатайствовал за других исследователей, несмотря на то, что с середины 1930-х годов сам был под давлением идейных противников. Сторонники и Вильямса, и Лысенко, сознавая необоснованность, а порой ошибочность своих взглядов, регулярно прибегали к административному ресурсу для подавления оппонентов. Ряд ученых были необоснованно репрессированы, ограничены по службе или вовсе вытеснены из профессии. Некоторых вынудили отречься от своих взглядов (в том числе через унижительные публичные процедуры, апогеем которых стала августовская сессия ВАСХНИЛ 1948 г.).

Таким образом, в 1930-1950-е годы сложилась парадоксальная ситуация. Государство признава-

ло развитие химической промышленности приоритетным, и была объективная заинтересованность в интенсификации сельскохозяйственного производства. При этом школа агрохимии подвергалась остракизму, переходившему подчас в открытые репрессии. Наиболее вероятным объяснением происходившего следует считать склонность руководства страны поддерживать школы и направления в науке, обещающие быстрое достижение высоких результатов с минимальными вложениями. Перевод научных дискуссий в политическую плоскость нанес колоссальный урон отечественной биологии, агрономии и практике сельского хозяйства.

И мичуринскую агробиологию Т.Д. Лысенко, и учение В.Р. Вильямса длительное время активно поддерживал Н.С. Хрущев, но впоследствии все же был взят курс на химизацию сельского хозяйства, поддержку и развитие агрохимических исследований. В марте 1962 г. на Пленуме ЦК КПСС травопольная система была признана «мертвой схемой» и принято решение: увеличить производство машин и оборудования для внесения органических и минеральных удобрений, гербицидов и других химических средств защиты растений, изыскать дополнительные капиталовложения на развитие химической промышленности.

Весной 1964 г. с созданием единой государственной агрохимической службы направление химизации сельского хозяйства окончательно легализовано как государственно значимое. Инициировать, отстоять и обеспечить ее дальнейшее развитие было невозможно без достаточного количества кадров. Феномен Д.Н. Прянишникова состоит в том, что он занимался не только исследованиями и выработкой практических рекомендаций, но и созданием отечественной агрохимической школы. Это проявилось и в организаторской, и в педагогической деятельности. Дмитрий Николаевич как преподаватель был связан с тремя учебными заведениями – Московским университетом, Московским сельскохозяйственным институтом (Тимирязевской академией) и Высшими женскими (Голицынскими) сельскохозяйственными курсами.

В Московском университете Прянишников с 1892 г. еще до отъезда в командировку работал приват-доцентом по агрономической химии, по возвращении в 1894 г. он стал читать первый в России курс лекций по химии растений. Университетская агрохимия то существовала как отдельная дисциплина, то переходила в различные синтетические курсы, то вновь обособлялась. Аналогично кафедра агрохимии то воссоздавалась, то закрывалась. Ее очередное возрождение в 1943 г. связано с активными усилиями Д.Н. Прянишникова, а в 1953 г. после окончательного закрепления в структуре университета ее заведующим стал Н.С. Авдонин, быв-

ший докторант академика. В память о выдающемся выпускнике и сотруднике в МГУ с 1948 г. учреждена стипендия имени Д.Н. Прянишникова.

Более многогранной была работа в Московском сельскохозяйственном институте, основанном в 1894 г. на базе Петровской академии. Прежний преподавательский состав был уволен, а новых педагогов решили набрать из числа недавних выпускников. Именно такое предложение получил вернувшийся из-за границы Д.Н. Прянишников, с 1895 г. посвятивший себя этому учебному заведению. Новыми учебными планами не предусматривались ни физиология растений, ни агрохимия. Главной задачей Дмитрия Николаевича как профессора было добиться полноценного преподавания агрохимии как неотъемлемой составляющей агрономического образования в высшей школе. Задача была выполнена, хотя потребовались на это несколько десятилетий.

Характеризуя Д.Н. Прянишникова-педагога, нельзя не отметить важнейший принцип, которому он следовал всю жизнь «*Explorando – docemus*» («Исследуя, обучаем»). Для профессионального становления агронома необходимы не просто практические, но исследовательские по своей сути работы. Д.Н. Прянишников настоял на обустройстве химической лаборатории при кафедре частного земледелия, а также получил в ведение теплицу и вегетационный домик для индивидуальных студенческих исследований (1896 г.), что было новшеством даже для европейских учебных заведений.

Эта и иные инициативы позволяют характеризовать Д.Н. Прянишникова как реформатора сельскохозяйственного образования. Посещая учебные заведения в других странах, он задумывался о совершенствовании подготовки кадров для села у себя на родине. Некоторую свободу действий предоставляли административные назначения: с 1895 г. Д.Н. Прянишников заведовал кафедрой частного земледелия, в 1907-1913 гг. был помощником директора по учебной части, в 1908-1909 гг. исполнял обязанности директора, а в 1916-1917 гг. стал директором МСХИ. На этих должностях удалось добиться не только официального признания самостоятельного эксперимента как формы учебной работы, но и сокращения количества обязательных предметов, выносимых на экзамены. Вместо этого студенты должны были самостоятельно подготовить дипломную работу по определенной специализации, это тоже было важным новшеством. Специализации реализовывались на основе секций, на их базе позже формировались факультеты академии [7]. Создать специализированную кафедру агрохимии удалось лишь при советской власти, в 1928 г., и на ней Дмитрий Николаевич работал последние 20 лет, наконец, оставив кафедру частного земледелия.

Д.Н. Прянишников всегда настойчиво боролся за правовой статус и признание научного характера агрономии, в том числе за введение соответствующих степеней. Еще сложнее обстояло дело с высшим аграрным образованием для женщин, которому академик посвятил немало времени и сил [8]. Этот вопрос не находил позитивного отклика в правительственных кругах, поэтому реальной альтернативой ожиданию каких-либо послаблений сверху оставалось испытанное средство – создание независимых высших женских курсов по сельскому хозяйству. В 1908 г. Москва стала вторым в стране городом, где такие курсы открылись на постоянной основе (временные создавались и ранее). Курсы получили название Голицынских в честь их инициатора – княгини С.К. Голицыной. Идею поддержали практически в полном составе преподаватели МСХИ, Д.Н. Прянишников согласился стать первым директором (до 1917 г.) и членом управляющего совета.

Ни по содержанию, ни по качеству образования Голицынские курсы не уступали институтской программе при отсутствии собственной материальной базы. Кроме исполнения административных функций Д.Н. Прянишников преподавал физиологию растений, объясняя свой энтузиазм, с которым взялся за дополнительную нагрузку, важностью участия образованных женщин в повышении уровня жизни в деревне. Курсы отвечали насущной потребности женщин получить полноценное высшее образование в России. Это начинание оказались не только благородным, но и успешным, пережило революционные годы и в 1922 г. курсы влились в состав Петровской академии, которой вернули прежнее название [9].

Заслуги в области развития агрохимии и в создании научной школы русских агрохимиков стали основанием для присуждения ученому в июне 1945 г. звания Героя Социалистического Труда. Даже непосредственные ученики Д.Н. Прянишникова столь многочисленны, что уместно разделить их по хронологическому принципу на два поколения (табл. 2).

Перечислены только люди, так или иначе связанные с агрохимией и различными аспектами химизации сельского хозяйства. В то же время учениками Д.Н. Прянишникова были видные специалисты в смежных областях. Это один из первых грузинских докторов химических наук Ш.Р. Цинцадзе, ведущий почвовед Белоруссии П.П. Роговой, микробиолог В.С. Буткевич и др. Николай Иванович Вавилов имел отдельные труды по агрохимии и всю жизнь гордился обучением у Дмитрия Николаевича.

Еще при жизни Д.Н. Прянишникова в 1946 г. при кафедре агрохимии ТСХА создается биофизическая лаборатория – один из главных центров совер-

Таблица 2

Table 2

**ПОКОЛЕНИЯ УЧЕНИКОВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЕЙ
АКАДЕМИКА Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА
GENERATIONS OF DISCIPLES AND FOLLOWERS
OF ACADEMICIAN D.N. PRYANISHNIKOV**

I поколение: А.Г. Дояренко, А.Н. Лебедянцев, И.С. Шулов, Н.М. Тулайков, М.К. Домонтович, А.И. Смирнов, В.П. Кочетков, Ф.В. Чириков и др.

Основная проблематика:

- Опытное дело
- Методика агрохимических исследований
- Применение фосфорных удобрений
- Сравнительные исследования минеральных удобрений
- Земледелие в засушливых районах
- Изучение корневого питания растений
- Научные основы льнокультуры

- Коллоидные свойства растительных веществ
- Минеральное питание и биохимия растений (на материале табака)
- Научные основы переработки табачного сырья
- Биохимическая сушка зерна
- Химическая технология фосфорных удобрений
- Экономика и планирование химизации
- Фосфорное питание растений

II поколение: Д.Л. Аскинази, Ф.В. Турчин, Б.А. Голубев, В.М. Клечковский, И.В. Гулякин, И.И. Гунар, А.В. Петербургский, А.В. Соколов, И.Г. Дикусар, Н.С. Авдонин, А.В. Владимиров, Е.В. Бобко, П.Г. Найдин и др.

Основная проблематика:

- Фосфорные и известковые удобрения
- Азотное питание растений и применение азотных удобрений
- Кислотность почв
- Сельскохозяйственная радиобиология
- Система применения удобрений
- Физиология растений
- Химическая защита растений

- Теоретические основы питания растений и применения удобрений
- Методика агрохимических исследований
- Плодородие почв и урожайность в нечерноземной полосе
- Теоретические основы питания растений
- Калийные удобрения
- Микроэлементы и микроудобрения
- Географическая сеть опытов с удобрениями

шенно новой области сельскохозяйственной науки радиологии [10]. Системообразующая роль ученого простиралась за пределы его области знаний. Научная генеалогия академика представляет отдельную, по сей день недостаточно изученную проблему, ожидающую своего исследователя.

По мнению академика РАН Г.П. Гамзикова, «нынешнее поколение агрохимиков и агрономов с полной уверенностью может себя считать внуками учениками Дмитрия Николаевича Прянишникова, продолжая учиться как по его трудам и книгам, так и его продолжателей» [11]. Действительно, общий курс агрохимии Д.Н. Прянишникова выдержал три прижизненных русскоязычных издания (1934, 1936 и 1940 г.), был переведен на пять языков народов СССР и три зарубежные. Д.Н. Прянишников автор более 500 работ – от фундаментальных руководств и учебников до энциклопедических и научно-популярных статей для массового читателя. Сегодня его труды имеют дидактическое и практическое значение. Питание растений привлекает внимание исследователей как фактор их стрессоустойчиво-

сти (что актуально в условиях высокой техногенной нагрузки, климатических и погодных аномалий).

В связи с использованием передовых авиационных и информационных технологий в земледелии особое значение приобретают работы по совершенствованию методов диагностики потребности растений в минеральных элементах. Их отрицательный баланс, а также дегумификацию отечественные почвы вновь испытывают на протяжении почти трех десятилетий. Подходы к решению этой проблемы и сохраняющие актуальность рекомендации содержатся в работах академика Д.Н. Прянишникова. К ним же восходит актуальное направление экологической агрохимии, призванное найти оптимальное сочетание нужд сельскохозяйственного производства с требованиями экологической безопасности. Основанная в 1941 г. по инициативе Д.Н. Прянишникова Географическая сеть опытов с удобрениями является уникальной долговременной системой мониторинга, позволяющей разрабатывать современные подходы к управлению почвенным плодородием, в том числе в рамках концепции точного земледелия.

Такие особенности долголетней научной биографии Д.Н. Прянишникова, как оптимизм, стремление развивать самостоятельные направления по всей глубине проблемы, тесная связь фундамен-

тальных и прикладных исследований в неблагоприятных внешних и противоречивых внутренних условиях делают ее интересной и важной для осмысления современных научных работников и практиков агропромышленного комплекса. Продолжают свою деятельность два из трех научных центров (НИУИФ и ВНИИ агрохимии), созданных при активном участии академика Д.Н. Прянишникова.

Трудно переоценить заслуги Дмитрия Николаевича Прянишникова, Лауреата премии им. В.И. Ленина (1926), Сталинской премии (1941) и премии им. К.А. Тимирязева (1945). Этот выдающийся российский ученый был избран академиком Академии наук СССР (1929) и ВАСХНИЛ (1936), членом-корреспондентом Французской академии наук.

Выводы. Жизненный путь ученого закончился в 1948 г., однако заложенные им традиции и намеченные направления исследований не пресеклись. Не являясь, безусловно, первым русским агрохимиком и не занимая административных постов, академик Д.Н. Прянишников придал этой науке в нашей стране системный подход. Современная российская агрохимия, сохраняя идеи и принципы преемственности, продолжает обеспечивать продовольственную безопасность страны и вносить свой вклад в фундаментальные знания и в науку о живом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Хаблова Е.С. Поездки советских растениеводов во Францию в период Interbellum // *Историко-биологические исследования*. 2023. Т. 15. N4. С. 193-206. DOI: 10.24412/2076-8176-2023-4-193-206.
- Шкуркин С.И., Шафран С.А., Налиухин А.Н. Становление и развитие Географической сети полевых опытов с удобрениями в России (к 80-летию Географической сети полевых опытов с удобрениями) // *Плодородие*. 2021. N3(120). С. 12-15. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.01.
- Торшин С.П., Смолина Г.А. Первые шаги учения об агрономических рудах (к 150-летию со дня рождения Я.В. Самойлова) // *Агрохимический вестник*. 2020. N6. С. 82-84. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10092.
- Стожко Д.К., Стожко К.П. Д.И. Менделеев как экономист (к 150-летию Периодической таблицы) // *Экономическая история*. 2019. Т. 15. N1(44). С. 23-33. DOI: 10.15507/2409-630X.044.015.201901.023-033. EDN: VWJRK.A.
- Шкуркин С.И., Носиков В.В., Торшин С.П. Основоположник коллоидной химии почв. К 150-летию со дня рождения К.К. Гедройца // *Плодородие*. 2022. N2(125). С. 71-73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17.
- Кузовкин Г.В., Мартин Б. «К счастью для меня, я начал свое образование в 1944 году и поэтому мог изучать классическую генетику» (Из интервью Жореса
- А. Медведева) // *Историко-биологические исследования*. 2019. Т. 11. N2. С. 76-95. DOI: 10.24411/2076-8176-2019-12001.
- Лобачевский Я.П., Ценч Ю. С. Становление системы агроинженерного образования в СССР в 1920-1930-е годы // *Вестник РУДН. История России*. 2020. Т. 19. N3. С. 684-698. DOI: 10.22363/2312-8674-2020-19-3-684-698.
- Рыжкова Е.В., Фадеева О.М., Широкоград И.И. Становление и развитие высшего аграрного образования в России (XIX-начало XX века) // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. Т. 63. N5. С. 66-68. DOI:10.24411/2587-6740-2020-15096.
- Елина О.Ю. Организация высшей женской сельскохозяйственной школы в Москве: к 110-летию Голицыньских курсов // *Педагогика*. 2019. N3. С. 108-115. EDN: ZEREQH.
- Торшин С.П., Смолина Г.А. Из когорты выдающихся ученых Тимирязевки. К 120-летию со дня рождения Всеволода Маврикиевича Ключковского // *Известия ТСХА*. 2020. N5. С. 111-117. DOI: 10.26897/0021-342X-2020-5-111-117.
- Гамзиков Г.П. О сибирских агрохимических чтениях, посвященных основателю отечественной агрохимии академику Д.Н. Прянишникову // *Агрохимия*. 2019. N7. С. 3-15. DOI: 10.1134/S0002188119070044.

REFERENCES

1. Khablova E.S. The visits of Soviet crop breeders to France during the Interbellum. *Studies in the history of biology*. 2023. Vol. 15. N4. 193-206 (In Russian). DOI: 10.24412/2076-8176-2023-4-193-206.
2. Shkurkin S.I., Shafran S.A., Naliukhin A.N. Formation and development of Geographical Network of Field Experiments with Fertilizers in Russia (dedicated to 80th anniversary of Geographical Network of Field Experiments with Fertilizers). *Plodorodiye*. 2021. N3(120). 12-15 (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.01.
3. Torshin S.P., Smolina G.A. The first steps of agronomic ores doctrine (to the 150th anniversary from the date of Ya.V. Samoilov's birth). *Agrochemical herald*. 2020. N6. 82-84 (In Russian). DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10092.
4. Stozhko D.K., Stozhko K.P. D.I. Mendeleev as the economist (to the 150th anniversary of the Periodic Table). *Russian journal of economic history*. 2019. Vol. 15. N1 (44). 23-33 (In Russian). DOI: 10.15507/2409-630X.044.015.201901.023-033. EDN: VWJKA.
5. Shkurkin S.I., Nosikov V.V., Torshin S.P. Founder of colloid soil chemistry (on the 150th anniversary of the birth of K.K. Gedroiz). *Plodorodiye*. 2022. N2 (125). 71-73 (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17.
6. Kuzovkin G.V., Martin B. Fortunately for me, I started studying in 1944 and could therefore study classical genetics (From an interview with Zhores A. Medvedev). *Studies in the history of biology*. 2019. Vol. 11. N2. 76-95 (In Russian). DOI: 10.24411/2076-8176-2019-12001.
7. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. The establishment of a system of agricultural engineering education in the USSR in the 1920s and 1930s. *RUDN journal of Russian history*. 2020. Vol. 19. N3. 684-698 (In Russian). DOI: 10.22363/2312-8674-2020-19-3-684-698.
8. Ryzhkova E.V., Fadeeva O.M., Shirokorad I.I. Formation and development of higher agricultural education in Russia (XIX-early XX centuries). *International agricultural journal*. 2020. Vol. 63. N5. 66-68 (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15096.
9. Elina O.Yu. Organising higher school of agriculture in Moscow: the 110th anniversary of the Golitsyn Women's Agriculture Courses. *Pedagogy*. 2019. N3. 108-115 (In Russian). EDN: ZEREQH.
10. Torshin S.P., Smolina G.A. From the cohort of outstanding scientists of Timiryazev University. To the 120th anniversary of Vsevolod Klechkovskiy. *Izvestiya TSKHA*. 2020. N5. 111-117 (In Russian). DOI: 10.26897/0021-342X-2020-5-111-117.
11. Gamzikov G.P. About Siberian arochemical readings dedicated to the founder of the national agricultural chemistry Academician D.N. Pryanishnikov. *Agrohimiya*. 2019. N7. 3-15 (In Russian). DOI: 10.1134/S0002188119070044.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – общее руководство, постановка задач исследования, научное редактирование текста статьи;

Сидоров И.В. – анализ предметной области, написание текста и формулирование выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – general guidance, formulation of research tasks, scientific editing of the manuscript;

Sidorov I.V. – analysis of the subject area, writing the manuscript and conclusions formulation.

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

09.01.2024

01.03.2024



Моделирование динамики вибрационного измельчителя кормового зерна

Николай Михайлович Иванов¹,
член-корреспондент РАН, профессор,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibime@sfscs.ru;

Алексей Михайлович Левин¹,
кандидат технических наук, докторант,
e-mail: lev-alex@mail.ru;
Иван Ярославич Федоренко²,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: ijfedorenko@mail.ru

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация;

²Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Российская Федерация

Реферат. Отметим возможность реализации вибрационного способа измельчения кормового зерна. Однако предпочтение следует отдавать таким динамическим схемам этих машин, которые способствуют энергосбережению и повышению надежности всей конструкции. В связи с этим заслуживает большого внимания вибрационный измельчитель, предложенный в Патенте RU 2688424C1. (*Цель исследования*) Повысить технический уровень вибрационных измельчителей кормового зерна на основе использования эффектов самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов. (*Материалы и методы*) Получили математическую модель динамики рабочих органов данного типа вибрационных измельчителей кормового зерна, учитывающую их конструктивные особенности и взаимодействие рабочих органов с технологической средой. (*Результаты и обсуждение*) Установлено, что для эффективного осуществления технологического процесса требуются встречное вращение дебалансных валов и настройка рабочих органов на антирезонансный режим работы. Экспериментально подтверждена стабильная самосинхронизация вибровозбудителей в режиме антирезонанса рабочих органов, хотя фазировка дебалансных валов отличалась от теоретической величины 180 градусов и составляла 168-170 градусов. Такое отклонение не оказывает негативного влияния на технологический процесс измельчения. Следовательно, первоначальная гипотеза о совместном проявлении эффектов самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов нашла свое теоретическое и экспериментальное подтверждение. (*Выводы*) Получены математические модели динамики рабочих органов вибрационных измельчителей кормового зерна, учитывающие их конструктивные особенности и взаимодействие с технологической средой. Установлено, что для осуществления технологического процесса на эффективном уровне требуются встречное вращение дебалансных валов, приводящее к самосинхронизации вибровозбудителей, и настройка рабочих органов на антирезонансный режим.

Ключевые слова: кормовое зерно, вибрационный измельчитель, самосинхронизация вибровозбудителей, антирезонанс рабочих органов, конструкции вибрационного измельчителя.

■ **Для цитирования:** Иванов Н.М., Левин А.М., Федоренко И.Я. Моделирование динамики вибрационного измельчителя кормового зерна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 46-51. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-46-51. EDN: CGMVUQ.

Scientific article

Simulating Dynamics of Feed Grain Vibration Grinder

Nikolay M. Ivanov¹,
corresponding member of the Russian Academy
of Sciences, professor,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sibime@sfscs.ru;

Alexey M. Levin¹,
Ph.D.(Eng.), doctoral student,
e-mail: lev-alex@mail.ru;
Ivan Ya. Fedorenko²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: ijfedorenko@mail.ru

¹Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation;

²Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation

Abstract. The paper notes the feasibility of a vibration-based method for feed grain grinding. However, preference should be placed on dynamic machine configurations that enhance energy efficiency and increase the overall structural reliability. In this regard, it is worth considering the vibration grinder proposed in Patent RU 2688424C1. (*Research purpose*) The study aims to improve the technical capabilities of feed grain vibration grinders through the utilization of self-synchronization effects in vibration exciters and anti-resonance in working components. (*Materials and methods*) The authors developed a mathematical model for the dynamics of the working bodies in this type of a grain vibration grinder, taking into consideration the design of these bodies and their interaction with the technological environment. (*Results and discussion*) The findings show that effective execution of the technological process requires counter-rotating unbalance shafts and fine-tuning the working bodies to operate in an anti-resonance mode. The experiment confirms stable self-synchronization of vibration exciters in the anti-resonance mode of the working bodies, although the phasing of the unbalance shafts deviates slightly from the theoretical 180-degree mark, measuring between 168 and 170 degrees. This deviation does not have an adverse impact on the grinding process. As a result, the initial hypothesis combining the effects of self-synchronization in vibration exciters and anti-resonance in working bodies has received both theoretical and experimental confirmation. (*Conclusions*) It has been established that effective implementation of the technological process necessitates the counter-rotation of unbalance shafts, resulting in the self-synchronization of vibration exciters, and adjustment of the working bodies to an anti-resonance mode.

Keywords: feed grain, vibration grinder, vibration exciters self-synchronization, working bodies anti-resonance, vibration grinder design.

■ **For citation:** Ivanov N.M., Levin A.M., Fedorenko I.Ya. Simulating dynamics of feed grain vibration grinder. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 46-51 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-46-51. EDN: CGMVUQ.

Как показали ранее проведенные исследования, вибрационный способ измельчения кормового зерна снижает удельные энергетические затраты в сравнении с молотковой дробилкой [1]. При этом структура измельченного продукта в большей степени отвечает требованиям, сформулированным зоотехнической наукой для жвачных животных.

Вибрационный способ может быть реализован в различных конструкциях измельчителей [2]. Однако предпочтение следует отдавать динамическим схемам машин [3]. Такие системы способствуют энергосбережению и повышению надежности всей конструкции [4].

В связи с этим заслуживает особого внимания вибрационный измельчитель для кормового зерна. Схема его работы приведена на рисунке 1. Близкие по технической сущности измельчители применяются в горном деле (Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 306 с.). Предполагалось, что в этом измельчителе будут проявляться важные для его технического уровня вибрационные динамические эффекты – самосинхронизация вибровозбудителей и антирезонанс [5, 6].

Самосинхронизация механических вибровозбудителей состоит в том, что два или более неуравновешенных роторов, приводимых в движение асинхронными двигателями, на неподвижном основании имеют разные скорости вращения ω_1 и ω_2 [7, 8]. Эти роторы, будучи установленными на общем подвижном основании, вращаются с одинаковой средней скоростью ω и определенной фазировкой.

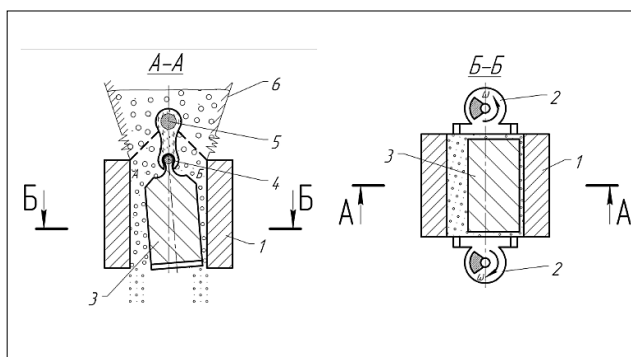


Рис. 1. Схема работы вибрационного измельчителя фуражного зерна

Fig. 1. Operational diagram of a vibrating feed grain shredder

Антирезонанс проявляется в двухмассных колебательных системах и означает неподвижность той массы, на которую действует источник вынужденных колебаний (Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. 351 с.).

Рабочие органы вибрационного измельчителя кормового зерна представляют собой активный элемент в виде корзины 1 с установленными на ней вибровозбудителями 2, а также пассивный элемент – массивный маятник 3, который кинематически связан с активным элементом в точке подвеса 4. Активный элемент может совершать угловые колебания в плоскости чертежа, поскольку снабжен шарнирным подвесом 5. Сверху измельчителя установлен бункер 6 с исходным фуражным зерном. В процессе измельчения зерно истекает из бункера и попадает в активные зоны между рабочими органами 1 и 3, под воздействием которых измельчается.

В целом конструкция представляет собой симметричную систему с двумя осями симметрии.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – повышение технического уровня вибрационного измельчителя кормового зерна на основе использования эффектов самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Динамику вибрационного измельчителя изучали на упрощенной расчетной схеме (модели), использование которой оправдано малыми колебаниями системы в вертикальном направлении (рис. 2). Такой подход с рассмотрением лишь горизонтальных колебаний дает исчерпывающую информацию о динамических свойствах данной конструкции.

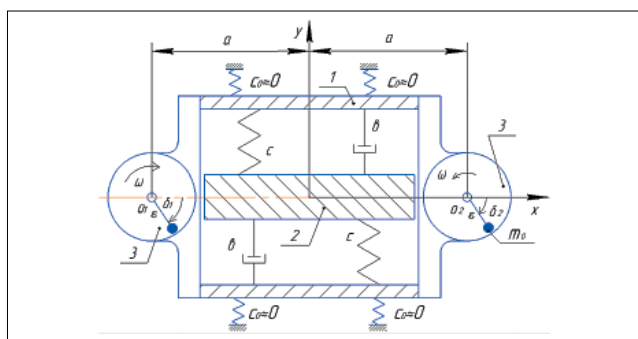


Рис. 2. Расчетная динамическая схема вибрационного измельчителя с двумя самосинхронизирующимися вибровозбудителями

Fig. 2. Calculated dynamic diagram of a vibration grinder with two self-synchronizing vibration exciters

Динамическая модель состоит из несущей системы 1 (корзины), внутри которой расположена подвижная щека 2. К корзине прикреплены два одинаковых дебалансных вибровозбудителя 3 с приводом от асинхронных электродвигателей. Внутренние поверхности несущей системы и поверхности щеки образуют рабочие поверхности измельчителя.

Свойства измельчаемого материала отображают упругие c и вязкие b элементы. При этом элемент b в эквивалентном виде представляет все диссипативные потери в слое измельчаемого материала. Поскольку несущая система совершает малые колебания на подвесках, то считаем, что жесткость поддерживающих элементов c_0 близка к нулю.

Перемещения тел 1 и 2 (корзины и щеки) от положения равновесия описываются координатами x и y их центров масс. Положения дебалансов описываются углами δ_1 и δ_2 , отсчитываемых от оси x . Угловые колебания всей системы относительно центра масс характеризуется углом φ .

В целом рассматриваемая расчетная модель является симметричной и центрированной, что упрощает самосинхронизацию вибровозбудителей.

В первом приближении считаем, что дебалансные валы вращаются равномерно по закону:

$$\delta_1 = q_1 \omega t; \delta_2 = q_2 (\omega t + \alpha), \quad (1)$$

где q_1 и q_2 – условные величины, характеризующие направление вращения дебалансных валов; α – фазовый сдвиг между вращениями дебалансов.

Уравнения колебаний системы в целом и отдельных элементов измельчителя имеют вид:

$$M\ddot{x} = \Phi_0 \cdot [q_1 \cos \omega t + q_2 \cos (\omega t + \alpha)]; \quad (2)$$

$$I\ddot{\varphi} = \Phi_0 a \cdot [q_1 \sin \omega t - q_2 \sin (\omega t + \alpha)]; \quad (3)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + c(y_1 - y_2) + b(\dot{y}_1 + \dot{y}_2) = -\Phi_0 [q_1 \sin \omega t + q_2 \sin (\omega t + \alpha)]; \quad (4)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - c(y_1 - y_2) - b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = 0, \quad (5)$$

где m_1, m_2, m_0 – массы тел 1, 2 и дебаланса вибровозбудителя;

$$M = m_1 + m_2 + 2m_0;$$

$$M_1 = m_1 + 2m_0;$$

$$\Phi_0 = m_0 \varepsilon \omega^2;$$

ε – эксцентриситет дебаланса;

a – расстояние от центра масс системы до осей вращения дебалансов;

I – момент инерции системы относительно центра ее масс;

c и b – коэффициенты, соответственно жесткости и сопротивления зернового слоя, находящегося в полости измельчения (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Теория и практика показывают, что возможны два режима синхронизации: $\alpha \neq 0$ (синфазное вращение валов дебалансов) и $\alpha = \pi$ (противофазное вращение валов дебалансов) [9]. В обоих случаях нас интересует встречное вращение дебалансов, при котором

$$q_1 = 1; q_2 = -1. \quad (6)$$

Исследуем первый режим синхронизации с $\alpha \neq 0$. Подставляя это условие, а также значения (6) в уравнения (2)-(5), будет:

$$M\ddot{x} = 2\Phi_0 \cos \omega t; \quad (7)$$

$$I\ddot{\varphi} = 2\Phi_0 a \sin \omega t; \quad (8)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + c(y_1 - y_2) + b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = 0; \quad (9)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - c(y_1 - y_2) - b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = 0. \quad (10)$$

Как следует из этих уравнений, данный режим синхронизации для вибрационного измельчителя явно не подходит, поскольку исчезает вынуждающая сила по направлению оси y . В то же время возникают паразитные колебания вдоль оси x , а также угловые вокруг центра масс.

Рассмотрим режим противофазной синхронизации, для которой $\alpha = \pi$:

$$M\ddot{x} = 0; \quad (11)$$

$$I\ddot{\varphi} = 0; \quad (12)$$

$$M_1\ddot{y}_1 + c(y_1 - y_2) + b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = -2\Phi_0 \sin \omega t; \quad (13)$$

$$m_2\ddot{y}_2 - c(y_1 - y_2) - b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = 0. \quad (14)$$

В этом случае движения рабочих только поступательные вдоль оси y , в том числе взаимные, что отвечает технологическим требованиям процесса измельчения. Паразитные колебания отсутствуют.

Известно, что реализуется тот вид синхронизации, который устойчив. И.И. Блехман показал, что для подобных рассматриваемому измельчителю симметричных динамических систем при встречном вращении дебалансных валов всегда устойчив именно режим с $\alpha = \pi$ (Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. 351 с.). При этом к другим параметрам системы требования минимальные:

$$2a \neq 0. \quad (15)$$

Условие (15) заведомо выполняется в данном измельчителе.

Рассмотрим отдельно уравнения (13) и (14). Они характеризуют требуемые для измельчения зерна прямолинейные, в том числе взаимные, колебания рабочих органов как двухмассной системы. Желательно, чтобы в процессе работы измельчителя несущая система с вибровозбудителями (тело 1 на рис. 2) совершала минимальные абсолютные колебания, а пассивное тело 2 – максимальные колебания. При этом имеет место взаимное перемещение данных тел (рабочих органов), что гарантирует измельчение зерна.

В то же время на вибровозбудители действуют минимальные инерционные нагрузки, что удлиняет срок их работы, снижает виброактивность машины в целом, уменьшает излучаемый шум. Речь идет здесь как раз об использовании эффекта антирезонанса.

Решения уравнений (13) и (14) в силу их линейности хорошо известны и для амплитуд колебаний тел 1 и 2 (корзины и щеки) будут в наших обозначениях таковыми:

$$A_1 = 2\Phi_0 \sqrt{\frac{(c - m_2\omega^2)^2 + b^2\omega^2}{\Delta^2 + \Delta_1^2}}; \quad (16)$$

$$A_2 = 2\Phi_0 \sqrt{\frac{c^2 - b^2\omega^2}{\Delta^2 + \Delta_1^2}},$$

где $\Delta = (c_0 + c - m_1\omega^2) \cdot (c - m_2\omega^2) - c^2$;

$$\Delta_1 = b\omega \cdot (c_0 - m_1\omega^2 - m_2\omega^2).$$

Минимальная амплитуда колебаний несущего тела 1 может наступить в том случае, если в числителе (16) будет $(c - m_2\omega^2) = 0$. Из этого следует, что антирезонанс проявляется при частоте возбуждения ω^* , равной парциальной частоте второго тела:

$$\omega^* = \sqrt{\frac{c}{m_2}}.$$

Обеспечение устойчивости околорезонансных колебательных режимов технологических вибромашин и самосинхронизации вибровозбудителей очевидно [10, 11].

Однако одновременные требования самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов в зерновом измельчителе технически противоречивые. Действительно, для устойчивой самосинхронизации вибровозбудителей необходимы максимальные колебания их общей несущей системы 1, для антирезонанса – ее минимальные колебания. Поэтому встает вопрос о возможности одновременного сосуществования этих эффектов, и в пользу его положительности решения свидетельствует «парадокс неработающих связей» (Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. 351 с.). Он заключается в том, что самосинхронизация может наблюдаться даже в отсутствие колебаний общего основания. Но если по каким-то причинам самосинхронизация нарушается, то колебания общего основания мгновенно появляются и самосинхронизация вибровозбудителей восстанавливается.

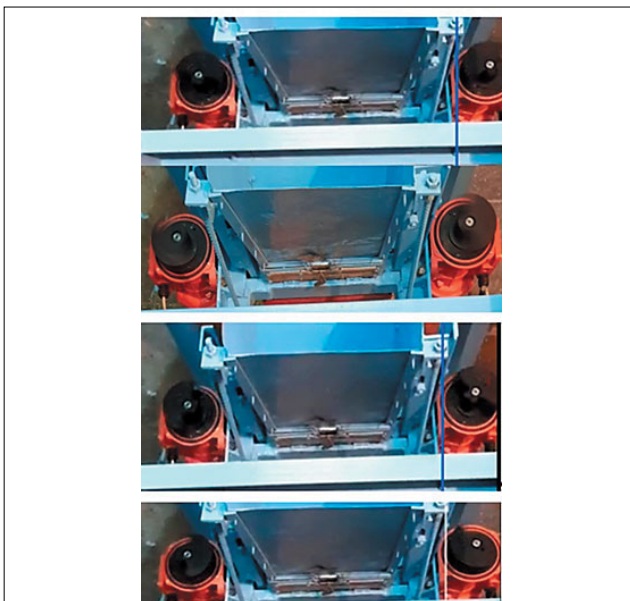


Рис. 3. Взаимное положение дебалансных валов измельчителя в случайные моменты времени (вид сверху): крышки дебалансных валов вибровозбудителей сняты)
Fig. 3. A relative position of the unbalanced shafts in the shredder at random times (top view): the covers of the unbalanced shafts of vibration exciters are removed)

Имеются также публикации по родственным динамическим системам, в которых этот эффект не только подтверждается [12], но и опровергается [13]. Поэтому возникла необходимость опытной проверки выдвинутых нами предположений. В режиме антирезонанса проверяли синхронное вращение дебалансов на экспериментальном образце вибрационного измельчителя кормового зерна производительностью около 200 кг/час. Верхние крышки вибровозбудителей были сняты (рис. 3) и во время работы проводили фотосъемку положения дебалансов.

Анализ фотоснимков показал стабильную самосинхронизацию вибровозбудителей, хотя фазировка дебалансных валов отличалась от теоретических 180° и составляла $168-170^\circ$. Это отклонение не влияет на технологический процесс измельче-

ния. Следовательно, первоначальная гипотеза о совместном проявлении эффектов самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов нашла свое теоретическое и экспериментальное подтверждение.

Выводы. В работе получены математические модели динамики рабочих органов вибрационных измельчителей кормового зерна, учитывающие их конструктивные особенности и взаимодействие рабочих органов с технологической средой.

Установлено, что для эффективного осуществления технологического процесса требуются встречное вращение дебалансных валов, как условие устойчивой самосинхронизации вибровозбудителей, а также настройка рабочих органов на антирезонансный режим их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левин А.М. Экспериментальная оптимизация процесса вибрационного измельчения кормового зерна // *Вестник Омского ГАУ*. 2023. N1(49). С. 161-168. DOI: 10.48136/2222-0364_2023_1_161.
2. Федоренко И.Я., Левин А.М., Табаев А.В. Морфологический анализ вибрационных измельчителей кормового зерна // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. N1(183). С. 156-163. EDN: NAEPUL.
3. Крупенин В.Л. Ударные и виброударные машины и устройства // *Вестник научно-технического развития*. 2009. N4(20). С. 3-32.
4. Картавый А.Н. Ресурсосберегающие принципы конструирования технологических вибрационных машин // *Горное оборудование и электромеханика*. 2009. N3. С. 28-37. EDN: JXCCRB.
5. Шишкин Е.В., Казаков С.В. Анализ динамики вибрационной конусной дробилки // *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. 2015. N3. С. 82-87. EDN: UNRYWX.
6. Shishkin E.V., Kazakov S.V. Application of vibratory-percussion crusher for disintegration of supertough materials. *IOP. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2017. 87 022018. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022018.
7. Kazakov S., Shishkin E. Vibrational dynamic system for the reduction of solid materials/ *Vibroengineering PROCEDIA*. Vol. 25. 2019. 65-69. DOI: 10.21595/vp.2019.20808.
8. Blekhman I.I. Vibrational mechanics: nonlinear dynamic effects, general approach, applications. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2000. 509. DOI: 10.1142/9789812794659.
9. Chunyu Zhao, Bin He, Junjiang Liu, et al. Design method of dynamic parameters of a self-synchronization vibrating system with dual mass. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part K: Journal of Multi-body Dynamics*, Prepublished January 29, 2017. DOI: 10.1177/1464419316689643.
10. Panovko G., Shokhin A. Dynamics features of a resonant vibromachine with self-synchronizing inertial vibroexciters in the presence of vibration limiter. *Journal of Vibroengineering*. 2021. Vol. 23. Iss. 8. 1727. DOI: 10.21595/jve.2021.22127. EDN: TUNZJH.
11. 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.
12. Пановко Г.Я., Шохин А.Е. Некоторые аспекты моделирования динамики резонансных вибромашин // *Вестник научно-технического развития*. 2014. N1(77). С. 25-36. EDN: SNRHKT.
13. Шохин А.Е., Никифоров А.Н. Саламандра К.Б. Экспериментальный анализ колебаний двухмассовой системы с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями // *Вестник научно-технического развития*. 2017. N12(124). С. 58-65.

REFERENCES

1. Levin A.M. Experimental optimization of the vibratory grinding process of fodder grain. *Vestnik of Omsk SAU*. 2023. N1(49). 161-168 (In Russian). DOI: 10.48136/2222-0364_2023_1_161.
2. Fedorenko I.Ya., Levin A.M., Tabayev A.V. Morphological analyses of vibration crushers of fodder grain. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020. N1(183). 156-163 (In Russian). EDN: NAEPUL.
3. Krupenin V.L. Shock and vibration impact machines and devices. *Bulletin of Science and Technical Development*.

2009. N4(20). 3-32 (In Russian).
4. Kartavy A.N. Resource-saving principles of technological vibration machines construction. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2009. N3. 28-37 (In Russian). EDN: JXCCRB.
 5. Shishkin E.V., Kazakov S.V. Analysis of the dynamics of a vibrating cone crusher. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*. 2015. N3. 82-87 (In Russian). EDN: UNRYWX.
 6. Shishkin E.V., Kazakov S.V. Application of vibratory-percussion crusher for disintegration of supertough materials. *Earth Environ. Sci.* 2017.87 022018 (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022018.
 7. Kazakov S.V., Shishkin E.V., Vibrational dynamic system for the reduction of solid materials. *Vibroengineering PROCEDIA*. Vol. 25. 2019. 65-69 (In English). DOI: 10.21595/vp.2019.20808.
 8. Blekhman I.I. Vibrational mechanics: nonlinear dynamic effects, general approach, applications. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2000. 509 (In English). DOI: 10.1142/9789812794659.
 9. Chunyu Zhao, Bin He, Junjiang Liu, et al. Design method of dynamic parameters of a self-synchronization vibrating system with dual mass. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K. Journal of Multi-body Dynamics*. (In English). DOI: 10.1177/1464419316689643.
 10. Panovko G., Shokhin A. Dynamics features of a resonant vibromachine with self-synchronizing inertial vibroexciters in the presence of vibration limiter. *Journal of Vibroengineering*. 2021. Vol. 23. Is. 8. DOI: 10.21595/jve.2021.22127. EDN: TUNZHJ.
 11. 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.
 12. Panovko G. Ya., Shokhin A.E. Some aspects of modeling the dynamics of resonant vibratory machines. *Bulletin of Science and Technical Development*. 2014. N1(77). 25-36 (In Russian).
 13. Shokhin A.E., Nikiforov A.N., Salamandra K.B. Experimental analysis of oscillations of a two-mass system with self-synchronizing inertial exciters. *Bulletin of Science and Technical Development*. 2017. N12(124). 58-65 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Иванов Н.М. – постановка проблемы, научное руководство, анализ экспериментальных результатов;
 Федоренко И.Я. – проведение испытаний, анализ экспериментальных испытаний, подготовка материалов к публикации;
 Левин А.М. – проведение испытаний, анализ экспериментальных испытаний, подготовка статьи.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Ivanov N.M. – problem statement, scientific guidance, analysis of experimental results;
 Fedorenko I.Ya. – testing, analysis of experimental tests, preparation of materials for publication;
 Levin A.M. – conducting tests, analyzing experimental results, preparing 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
 15.11.2023



Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки

Александр Геннадиевич Пастухов,
доктор технических наук, профессор кафедры,
e-mail: pastukhov_ag@mail.ru;
Александр Александрович Добрицкий,
кандидат технических наук, доцент кафедры,
e-mail: dobrickiy_aa@bsaa.edu.ru;

Дмитрий Николаевич Бахарев,
доктор технических наук, доцент кафедры,
e-mail: baharevdn_82@mail.ru;
Сергей Федорович Вольвак,
кандидат технических наук, профессор кафедры,
e-mail: volvak.s@yandex.ru

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, Российская Федерация

Реферат. Отметим роль процесса сушки в технологии послеуборочной обработки семян бахчевых культур. Для повышения эффективности сушки высоковлажных семян предложили конструкцию установки, в которой реализован принцип дифференцированного подвода тепла к принудительно перемешиваемому слою семян. Обосновали необходимость уточнения размерных, фрикционных и аэродинамических свойств семян тыквы для определения рациональных режимов работы предложенной сушилки. *(Цель исследования)* Установить физико-механические свойства семян тыквы по результатам определения их размерных, фрикционных и аэродинамических характеристик. *(Материалы и методы)* Использовали методы однофакторного экспериментального исследования с последующей статистической обработкой массива данных. Экспериментально изучались физико-механические свойства семян тыквы сорта Волжская серая с кондиционной влажностью 9,3-9,7 процентов. При определении угла естественного откоса и уточнении коэффициентов трения применялись общеизвестные лабораторные установки типа «коническая емкость» и «наклонная плоскость». При изучении аэродинамических свойств семян был использован парусный классификатор *K-293 Petkus*. *(Результаты и обсуждение)* Разработали методики исследования и описали экспериментальные установки. Установили, что с доверительной вероятностью 0,95 статические коэффициенты трения семян тыквы по сплошному стальному полотну, перфорированному стальному решетку и по резине составляют 0,473, 0,418, 0,481, соответственно, а динамические коэффициенты трения в этих же условиях – 0,331, 0,293, 0,337. Среднее значение угла естественного откоса семян – 22 градуса, миделево сечение – 97,94 миллиметров квадратных, скорость витания – 7,083 метра в секунду, коэффициент парусности – 0,196 и коэффициент аэродинамического сопротивления – 0,136. *(Выводы)* Подтвердили предположение, что повысить эффективность сушки семян бахчевых культур возможно путем дифференцированного подвода тепловой энергии к непрерывно перемещающейся массе внутри установки, при условии исключения слипания семян в слои, блокирующие прохождение теплоносителя. Разработали усовершенствованную конструкцию сушилки и для обоснования ее оптимальных конструктивно-технологических параметров исследовали размерные, фрикционные и аэродинамические свойства семян.

Ключевые слова: сушилка, конструкция, дифференцированный подвод тепла, семена тыквы, физико-механические, аэродинамические свойства.

■ **Для цитирования:** Пастухов А.Г., Добрицкий А.А., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 52-59. DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59. EDN: HXSFXP.

Scientific article

Physico-Mechanical Properties of Pumpkin Seeds in the Context of Drying Processes

Alexander G. Pastukhov,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: pastukhov_ag@mail.ru;
Alexander A. Dobritskiy,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: dobrickiy_aa@bsaa.edu.ru

Dmitriy N. Bakharev,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor,
e-mail: baharevdn_82@mail.ru;
Sergey F. Volvak,
Ph.D.(Eng.), professor,
e-mail: volvak.s@yandex.ru

Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin, Mayskiy, Belgorod region, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the significance of the drying process in post-harvest cucurbit seed treatment technology. To improve the effectiveness of drying high-moisture seeds, a plant construction design was introduced, incorporating the concept of providing varied heat distribution to a vigorously agitated seed layer. The paper validates the necessity of refining the dimensional, frictional, and aerodynamic properties of pumpkin seeds to determine the optimal operating modes for the proposed dryer. (*Research purpose*) To identify the physical and mechanical properties of pumpkin seeds by defining their dimensional, frictional and aerodynamic characteristics. (*Materials and methods*) The study employs one-factor experimental research methods with subsequent statistical data processing. An experimental study was conducted on the physical and mechanical properties of Volzhskaya Grey pumpkin seeds possessing a standard moisture content ranging between 9.3 and 9.7 percent. Well-known laboratory apparatuses, namely the «conical tank» and the «inclined plane», were used to determine the natural repose angle and to enhance the accuracy of friction coefficients determination. For analyzing the aerodynamic properties of the seeds, the K-293 Petkus air separator was employed. (*Results and discussion*) Research methods were developed and experimental plants were described. It was established that with a probability confidence level of 0.95, the static friction coefficients of pumpkin seeds on a solid steel sheet, a perforated steel sieve and on rubber are 0.473, 0.418, 0.481, respectively, and the dynamic friction coefficients under the identical conditions are measured as 0.331, 0.293, 0.337. The average angle of natural repose is found to be 22 degrees, the midsection area is 97.94 square millimeters, the soaring velocity is 7.083 meters per second, the windage coefficient stands at 0.196 and the aerodynamic drag coefficient is 0.136. (*Conclusions*) The assumption that enhancing the drying efficiency of vegetable seeds can be achieved by implementing a diverse thermal energy supply to continuously moving mass inside the apparatus is confirmed, provided that the seeds do not stick together in layers resulting in blockage of the coolant flow. An improved design of the dryer configurations has been developed and, to validate its optimum design and technological specifications, an in-depth analysis of the seeds' dimensional, frictional, and aerodynamic attributes has been conducted.

Keywords: dryer, design, differentiated heat supply, pumpkin seeds, physical and mechanical properties, aerodynamic properties.

■ **For citation:** Pastukhov A.G., Dobritskiy A.A., Bakharev D.N., Volvak S.F. Physico-mechanical properties of pumpkin seeds in the context of drying processes. *Agricultural machinery and technologies*. 2024.Vol. 18. N1. 52-59 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59. EDN: HXSFXP.

Среди технологических процессов послеуборочной обработки бахчевых культур сушка семян наиболее сложная и ответственная, так как определяет качество и сроки хранения семян [1, 2]. Сложность заключается в трех проблемных явлениях. Во-первых, влажность свежесобранных семян, которая в зависимости от технологии выделения может достигать 90%. Во-вторых, поверхность неотмытого семени покрыта паро- и влагонепроницаемой пленкой, препятствующей тепломассообмену при сушке. В-третьих, семена во время сушки слипаются в слои, блокирующие прохождение теплоносителя.

Для решения данных проблем разработан экспериментальный образец сушильной установки (рис. 1). В ней семена опускаются сверху вниз, теряя влагу, а теплоноситель (нагретый воздух) движется противотоком снизу вверх, передавая тепловую энергию семенам, поглощает их влагу и отводится в атмосферу [3]. Более влажные семена, находящиеся в верхних секциях сушилки, обдуваются теплоносителем с наименьшей температурой, а к более сухим в нижних секциях сушильный агент поступает наиболее теплый, что исключает растрескивание оболочки семян. В результате формируется принцип дифференцированного подвода тепловой энергии к семенам [4].

Принцип действия установки показан на рисунке 2. Подробное описание приведено в [5].

Влажные семена через дозатор 1 поступают в секционную сушильную камеру 2. В состав установки входят: измерительный комплект 3 К-505, блок снятия энергетических показаний 4, автотрансформатор 5, мультиметр 6, пульт управления 7 и манометр 8. Температура теплоносителя в камере регулируется через блок контроля 9, показания с датчиков температуры выводятся на монитор 10.

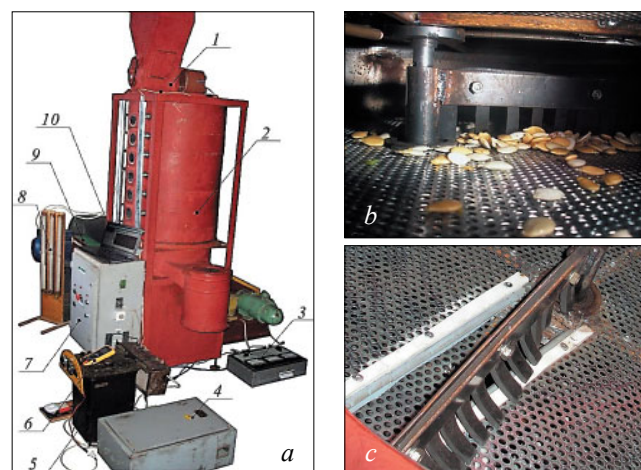


Рис. 1. Экспериментальное оборудование для сушки семян бахчевых культур: а – общий вид; б – внутренняя часть сушильной секции; в – гибкий элемент ворошилки слоя семян
Fig. 1. Experimental cucurbit seed dryer: a – general view of the experimental equipment; b – inner part of the drying section; c – flexible element of the seed layer tedder

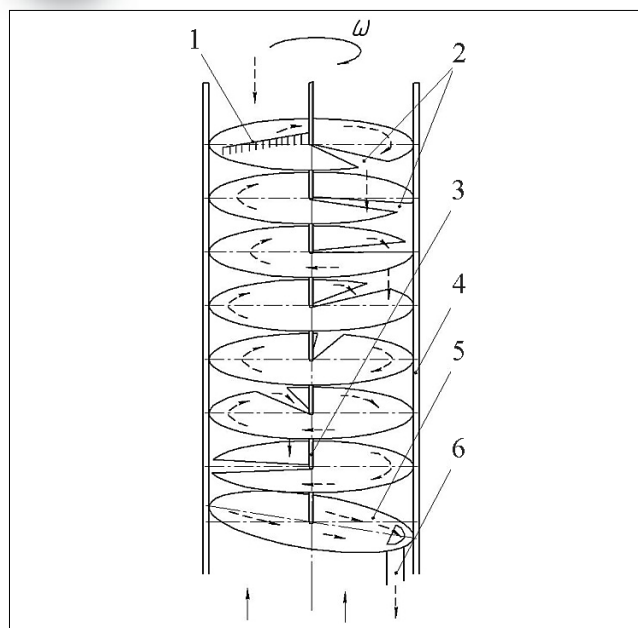


Рис. 2. Схема движения семян по неподвижным решетам сушилки: 1 – ворошилки; 2 – загрузочно-разгрузочные окна решета; 3 – вертикальный приводной вал ворошилок; 4 – цилиндрическая рама; 5 – наклонное газораспределительное решето; 6 – разгрузочный короб

Fig. 2. Movement path of seeds across stationary dryer screens: 1 – tedder; 2 – sieve loading and unloading ports; 3 – vertical tedder drive shaft; 4 – cylindrical frame; 5 – inclined gas distribution sieve; 6 – unloading box

Режим непрерывного движения семян по секциям сушилки, постоянно продуваемых восходящим потоком теплоносителя, и пересыпание семян с верхних на нижние решета под действием силы тяжести можно обеспечить, учитывая ряд физико-механических характеристик [6].

Для бахчевых культур важно знать: размерные характеристики семян, влажность, угол естественного откоса, статические и динамические коэффициенты трения по поверхностям из различных конструкционных материалов, скорость витания семян, коэффициент парусности и коэффициент аэродинамического сопротивления [7]. Важно отметить, что в данной области сформирована определенная база знаний, информативно и практически ценная для конструкторов сушилок и исследователей процесса сушки высоковлажных семян бахчевых культур [8]. Однако необходимо ее расширять путем исследований физико-механических свойств культур каждого вида и сорта, районированного в конкретной природно-климатической зоне. Это позволит отойти от практики весьма приближенных усреднений численных значений конкретного параметра сушки [9].

В рамках исследования изучались физико-механические свойства семян тыквы сорта Волжская серая, хорошо себя зарекомендовавшей в южных засушливых регионах России.

Цель исследований. Установить физико-механические свойства семян тыквы по результатам определения их размерных, фрикционных и аэродинамических характеристик. Поставлены задачи: определить статические и динамические коэффициенты трения по сплошной, перфорированной стальной поверхности и резине; установить угол естественного откоса; определить скорость витания и коэффициент парусности; рассчитать миделево сечение и коэффициент сопротивления семян тыквы Волжская серая.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использованы методы одnofакторного эксперимента с последующей статистической обработкой массива данных. Изучались физико-механические свойства семян с кондиционной влажностью 9,3-9,7%, которую контролировали влагомером Wile-55. При определении угла естественного откоса и уточнении коэффициентов трения использовались типовые лабораторные установки «коническая емкость» и «наклонная плоскость», а при исследовании аэродинамических свойств семян применялся парусный классификатор K-293 Petkus.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Коэффициенты статического и динамического трения семян тыквы сорта Волжская серая были определены на лабораторной установке типа «наклонная плоскость» (рис. 3).

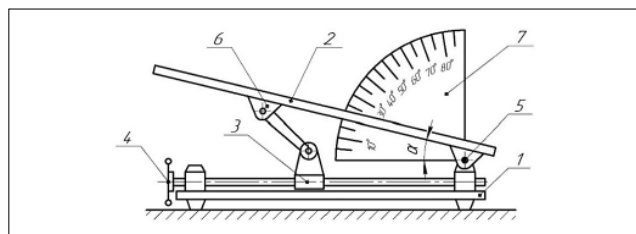


Рис. 3. Схема лабораторной установки для определения коэффициентов статического и динамического трения: 1 – плита; 2 – подвижная поверхность; 3 – механизм управления подвижной плоскостью; 4 – рукоятка винтового механизма; 5 – ось; 6 – опора; 7 – шкала

Fig. 3. Diagram of a laboratory apparatus for determining static and dynamic friction coefficients: 1 – plate; 2 – movable surface; 3 – movable plane control mechanism; 4 – screw mechanism handle; 5 – axis; 6 – support; 7 – scale

Статический коэффициент трения f_c определяется по углу наклона подвижной плоскости α , при котором семена только начинают сдвигаться (скользить) по поверхности [10]:

$$f_c = \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Динамический коэффициент трения f_d определяют по углу наклона плоскости α_1 , при котором семена непрерывно скользят, и скорости движения по эмпирической зависимости [11]:

$$f_d = \operatorname{tg} \alpha_1 - \frac{2 \cdot S}{g \cdot t^2 \cdot \cos \alpha_1}, \quad (2)$$

где S – путь образца, пройденный по наклонной плоскости, $S = 0,4$ м; t – время движения образца по наклонной плоскости, с; α_1 – угол наклона плоскости, град; для исследований принят $\alpha_1 = \alpha + 10^\circ$.

Статический и динамический коэффициенты трения семян тыквы изучали при использовании различных материалов поверхности наклонной плоскости (рис. 4).



Рис. 4. Скольжение семян (слева-направо): по шлифованной стали, перфорированному стальному решетку, резине

Fig. 4. Friction of pumpkin seeds (left to right) on polished steel, perforated steel sieve, rubber

Угол естественного откоса семян определяли на лабораторной установке типа «коническая емкость» (рис. 5). Суть эксперимента заключается в определении высоты насыпного конуса H и радиуса его основания R (рис. 5а), а затем расчета коэффициента внутреннего трения и угла естественного откоса семян по известным выражениям.

Коэффициент внутреннего трения [12]:

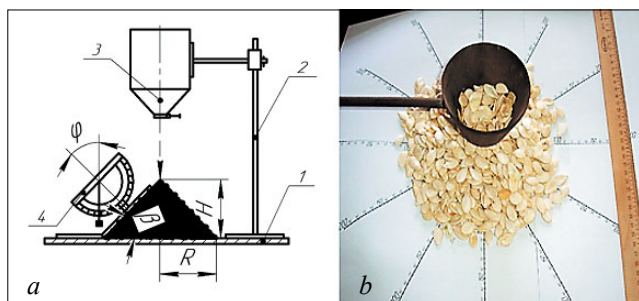


Рис. 5. Схема лабораторной установки для определения угла естественного откоса семян тыквы (а) и коэффициента внутреннего трения (б): 1 – плита; 2 – штатив; 3 – воронка; 4 – угломер

Fig. 5. Diagram of the laboratory plant for determining the angle of pumpkin seed natural repose (a) and internal friction coefficient (b): 1 – plate; 2 – tripod; 3 – funnel; 4 – goniometer

$$f = \operatorname{tg} \beta = H/R, \quad (3)$$

где β – угол естественного откоса, град; H – высота насыпного конуса семян, мм; R – радиус основания насыпного конуса, мм.

Угол естественного откоса [12]:

$$\varphi = \arctg f. \quad (4)$$

Скорость витания и коэффициент парусности семян тыквы определяли на парусном классификаторе K-293 Petkus (рис. 6).

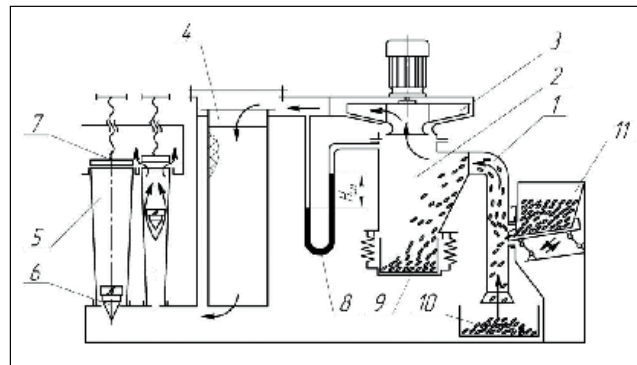


Рис. 6. Парусный классификатор K-293 Petkus: 1 – аэродинамическая труба; 2 – осадочная камера; 3 – вентилятор; 4 – фильтр; 5 – труба ротаметра; 6 – груз ротаметра; 7 – заслонка ротаметра; 8 – манометр гидростатический; 9 – приемник осадочной камеры; 10 – приемник аэродинамической трубы; 11 – бункер

Fig. 6. K-293 Petkus air separator: 1 – wind tunnel; 2 – sedimentary chamber; 3 – fan; 4 – filter; 5 – rotameter tube; 6 – rotameter load; 7 – rotameter flap; 8 – hydrostatic pressure gauge; 9 – sedimentary chamber receiver; 10 – wind tunnel receiver; 11 – hopper

Суть эксперимента заключается в разделении навески семян в вариационный ряд по парусности. Это позволяет рассчитать скорость витания семян V_k по известной формуле [13]:

$$V_k = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (5)$$

где V_i – критическая скорость воздушного потока для семян i -й группы вариационного ряда, м/с; m_i – масса семян в i -й группе вариационного ряда, кг.

При этом коэффициент парусности [14]:

$$K_n = g/V_k^2, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент аэродинамического сопротивления к определяется [15]:

$$\kappa = \frac{K_n \cdot m}{9,8 \cdot \gamma \cdot F}, \quad (7)$$

где m – масса семян, кг; γ – плотность семян, кг/м³; F – миделево сечение семян, м².

Миделево сечение семян характеризуется их эквивалентным размером l [16]:

$$F = l^2. \quad (8)$$

Эквивалентный размер семян [17]:

$$l = \sqrt[3]{abc}, \quad (9)$$

где a, b, c – длина, ширина, толщина семени, м [18].

Во всех экспериментах повторность опытов принималась такой, чтобы обеспечивалась доверительная вероятность не менее 0,95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Значения коэффициентов трения семян тыквы Волжская серая по стали, перфорированному стальному решетку (диаметр перфораций 4 мм) и резине определены экспериментально по вышеописанной методике. Среднестатистический коэффициент трения f_c и динамический коэффициент трения f_d семян тыквы Волжская серая составляют:

- по стали соответственно 0,473 и 0,331;
- по перфорированному стальному решетку 0,418 и 0,293;
- по резине 0,481 и 0,337.

Угол естественного откоса семян тыквы Волжская серая рассчитан по выражению (4) на основании экспериментальных значений коэффициента внутреннего трения:

- средняя высота насыпного конуса H – 54,2 мм;
- средний коэффициент внутреннего трения f – 0,40;
- средний угол естественного откоса – 22,0 град.

Эквивалентный размер семян и миделево сечение определялись по выборке, отобранной методом деления квадрата из навески, загружаемой в парусный классификатор $K-293$ Petkus (табл. 1).

Размерные характеристики семян определяют геометрические параметры окон в решетках секций для пересыпания семян с верхнего уровня на нижний [19].

Изучение аэродинамических свойств семян тыквы осуществлялось с трехкратной повторностью для десяти размерно-массовых классов (табл. 2). Скорость витания определяет режимы подачи теплоносителя в сушилку [20]. По результатам экспериментального определения аэродинамических характеристик семян тыквы сорта Волжская серая

построена гистограмма и вариационная кривая скорости витания (рис. 7).

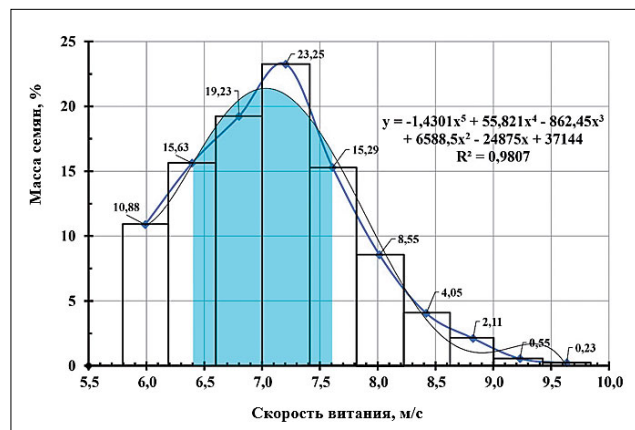


Рис. 7. Гистограмма и вариационная кривая скорости витания

Fig. 7. Histogram and variability curve of soaring speed

Анализ гистограммы и вариационной кривой дает основание считать, что интервал рациональных значений скорости витания семян тыквы сорта Волжская серая составляет 6,4–7,6 м/с. Средину данного интервала 7,083 м/с целесообразно использовать в практических расчетах при проектировании сушилок предлагаемой конструкции.

Значение коэффициента аэродинамического сопротивления 0,136 показывает, что сопротивление воздуха при витании семян тыквы не существенно, поэтому в процессе теоретического обоснования движения материала в сушилке данный параметр можно учитывать в виде комплексного поправочного коэффициента.

Выводы

- В результате лабораторных исследований установлены физико-механические свойства семян тыквы, что обуславливает фундамент для определе-

Таблица 1

Table 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО РАЗМЕРА СЕМЯН И МИДЕЛЕВА СЕЧЕНИЯ RESULTS OF DETERMINING THE SEED AND MIDSECTION EQUIVALENT SIZE

Номер зерна	Измеренный размер семени, мм			Средний размер семени, мм			Эквивалентный размер семян l , мм	Миделево сечение F , мм ²
1	20,00	12,40	4,80	20,01	11,96	4,05	9,90	97,94
2	21,00	12,45	3,95					
3	20,90	11,25	4,00					
4	20,10	11,75	3,70					
5	20,75	11,50	4,40					
6	19,85	12,75	3,90					
7	18,50	12,50	4,40					
8	19,15	11,00	3,40					
9	18,55	12,25	4,40					
10	21,25	11,75	3,55					

Таблица 2

Table 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕМЯН ТЫКВЫ ВОЛЖСКАЯ СЕРАЯ RESULTS OF DETERMINING THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF VOLZHSKAYA SERAYA PUMPKIN SEEDS										
Показатель	Номер класса (интервала)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы класса, м³/ч	50,0-53,5	53,5-57,0	57,0-60,5	60,5-64,0	64-67,5	67,5-71,0	71,0-74,5	74,5-78,0	78,0-81,5	81,5-85,0
Средняя критическая скорость класса, м/с	5,99	6,39	6,8	7,2	7,61	8,02	8,42	8,83	9,23	9,64
Первая повторность опыта										
Масса выделившейся фракции семян, г	8,5	37,82	43,31	51,44	30,95	16,29	7,66	3,35	0,65	0
Масса семян, %	4,25	18,91	21,66	25,72	15,48	8,15	3,83	1,68	0,33	0
Среднее по классу V_k , м/с	7,120									
Вторая повторность опыта										
Масса выделившейся фракции семян, г	28,14	39,00	32,56	45,78	19,89	18,67	10,23	2,72	1,64	0,7
Масса семян, %	14,07	19,50	16,28	22,89	9,95	9,34	5,12	1,36	0,82	0,35
Среднее по классу V_k , м/с	7,011									
Третья повторность опыта										
Масса выделившейся фракции семян, г	28,66	16,95	39,52	42,3	40,91	16,35	6,38	6,60	1,00	0,65
Масса семян, %	14,33	8,48	19,76	21,15	20,46	8,18	3,19	3,30	0,50	0,33
Среднее по классу V_k , м/с	7,117									
Средние показатели аэродинамических характеристик семян										
Середина интервала рациональных значений скорости витания V_k , м/с	7,083									
Коэффициент парусности K_n	0,196									
Коэффициент аэродинамического сопротивления K	0,136									

ния оптимальных конструктивно-технологических параметров сушилки.

• Экспериментально определены и уточнены значения физико-механических свойств семян:

- средние размерные параметры – длина 20,01 мм, ширина 11,96 мм, толщина 4,05 мм;
- миделево сечение – 97,94 мм²;

- статические коэффициенты трения семян по сплошному стальному полотну, перфорированному стальному решету и по резине составляют 0,473, 0,418, 0,481, а динамические коэффициенты трения – 0,331, 0,293, 0,337, соответственно;

- среднее значение угла естественного откоса семян – 22 град;

- среднее значение скорости витания – 7,083 м/с;
- коэффициент парусности – 0,196;
- коэффициент аэродинамического сопротивления – 0,136.

• Перспективы исследований в данной области определяются расширением перечня сортов тыквы по определению физико-механических свойств семян с целью обобщения экспериментальных данных применительно к разработке и совершенствованию сушилок семян бахчевых культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Пехальский И.А., Павлов С.А. Расчет изотермической сушки зерна // *Сельский механизатор*. 2019. N8. С. 22-23. EDN: OQXPP0.
2. Агеев П.С., Долгов В.И., Курдюмов В.И., Павлушин А.А. Обоснование теплоэнергетических параметров процесса контактной сушки зерна // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. N1(57). С. 6-11. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-6-11. EDN: LMUVWK.
3. Dobrickiy A., Bakharev D., Pastukhov A., Volvak S. Experimental study of melon crop seed dryer productivity. *Engineering for Rural Development*. Jelgava. Latvia. Vol. 20. 2021. 157-162. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF032. EDN: UBVUER.
4. Бабичева Е.Л., Рудобашта С.П., Сидельников И.И. Псевдооживление семян проса и гороха // *Агроинженерия*. 2021. N5(105). С. 13-19. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-5-13-19. EDN: PGZABT.
5. Добрицкий А.А., Вольвак С.Ф. Сушилка семян бахчевых культур // *Сельский механизатор*. 2019. N12.

- C. 20-21. EDN: ZZJCWT.
6. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Эволюция зерно-семяочистительной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №1. С. 24-33. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-24-33. EDN: NOOETW.
7. Davies R.M. Engineering properties of three varieties of melon seeds as potentials for development of melon processing machines. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2010. Vol. 2(1). 63-66.
8. Khodabakhshian R. Mechanical strength and physical behavior of pumpkin seed and its kernel. *Thai Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 45(1). 37-43.
9. Гончаров А.В., Левшин А.Г., Гаспарян И.Н. Физико-механические свойства сортов и сортообразцов семян тыквы как основа совершенствования механизации возделывания // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022. №1(66). С. 134-143. DOI: 10.24412/2078-1318-2022-1-134-143. EDN: MMDPJT.
10. Цепляев А.Н., Китов А.Ю. Физико-механические свойства плодов бахчевых культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2017. №3(47). С. 216-225. EDN: ZGYYFR.
11. Хозяев И.А., Чистяков А.Д., Царев Ю.А. и др. Устройство для определения динамического и статического коэффициентов трения сыпучих продуктов // *Инженерный вестник Дона*. 2019. №1(52). С. 18. EDN: WRTARW.
12. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А. и др. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 41-47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47. EDN: VUCSDA.
13. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Яковлев М.А., Смирнов А.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик гранулированных сыпучих материалов // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. №2(31). С. 29-33. EDN: LZPPMW.
14. Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н. Взаимосвязь аэродинамических показателей фракций сыпучего материала // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 15. №4(75). С. 90-96. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_4_90. EDN: GATZVO.
15. Круглов А.И., Скорлупкин Д.Б., Сладков Д.В. Численное моделирование дозвукового обтекания цилиндрического тела. 2021. №3. С. 331-335. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-3-331-335. EDN: BDHRWF.
16. Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н. Разброс значений коэффициента парусности семян пшеницы при аэродинамической сепарации // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 16. №2(77). С. 98-105. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_98. EDN: PZSDFM.
17. Шаршунов В.А., Сентюров Н.С., Цайц М.В. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнокостры // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. №3. С. 169-175. EDN: HDGKHE.
18. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Добрицкий А.А. Определение коэффициента Пуассона и модуля Юнга внешней плодовой оболочки зерна кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №3. С. 20-26. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-20-26. EDN: KUELTH.
19. Жалнин Э.В., Чаплыгин М.Е. Динамика фракционного состава зерносоматической массы, обмолачиваемой в молотильном аппарате зерноуборочного комбайна // *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32. №2. С. 249-262. DOI: 10.15507/2658-4123.032.202202.249-262. EDN: YEJPDM.
20. Шаршунов В.А., Сентюров Н.С., Цайц М.В. Определение скорости витания компонентов вороха льнокостры // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. №2. 171-175. EDN: UJTAED.

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Pekhalsky I.A., Pavlov S.A. Calculation of isothermal drying of grain. *Selskiy mekhanizator*. 2019. №8. 22-23 (In Russian). EDN: OQXPPQ.
2. Ageev P.S., Dolgov V.I., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A. Justification of heat and energy parameters of contact drying process of grain. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022. №1(57). 6-11 (In Russian). DOI: 10.18286/1816-4501-2022-1-6-11. EDN: LMUVWK.
3. Dobrickiy A.A., Bakharev D.N., Pastukhov A.G., Volvak S.F. Experimental study of melon crop seed dryer productivity. *Engineering for Rural Development*. 2021. Vol. 20. 157-162 (In English). DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF032. EDN: UBVUEP.
4. Babicheva E.L., Rudobashta S.P., Sidelnikov I.I. Fluidization of millet and pea seeds. *Agricultural Engineering*. 2021. №5(105). 13-19 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-5-13-19. EDN: PGZABT.
5. Dobrickiy A.A., Volvak S.F. Dryer seeds melons crops. *Selskiy mekhanizator*. 2019. №12. 20-21. (In Russian). EDN: ZZJCWT.
6. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Evolution of grain and seed cleaning equipment in Russia. *Agricultural machinery and technologies*. 2021. Vol. 15. №1. 24-33 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-24-33. EDN: NOOETW.
7. Davies R.M. Engineering properties of three varieties of melon seeds as potentials for development of melon processing machines. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2010. Vol. 2(1). 63-66 (In English).
8. Khodabakhshian R. Mechanical strength and physical behavior of pumpkin seed and its kernel. *Thai Journal of Ag-*

ricultural Science. 2011. Vol. 45(1). 37-43 (In English).

9. Goncharov A.V., Levshin A.G., Gasparyan I.N. Physical and mechanical properties of varieties and cultivar samples of pumpkin seeds as a basis for improving cultivation the mechanization. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian university*. 2022. N1(66). 134-143 (In Russian). DOI: 10.24412/2078-1318-2022-1-134-143. EDN: MMDPJT.
10. Tseplyaev A.N., Kitov A.Yu. Physico-mechanical properties of bahcheval crops fruits. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2017. N3(47). 216-225 (In Russian). EDN: ZGYYPF.
11. Khozyaev I.A., Chistyakov A.D., Tsarev Yu.A. et al. Device for determining the dynamic and static coefficients of bulk products. *Engineering Journal of Don*. 2019. N1(52). 18 (In Russian). EDN: WRTARW.
12. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A. et al. Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics. *Agricultural machinery and technologies*. 2019. Vol. 13. N1. 41-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47. EDN: VUCSDA.
13. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Yakovlev M.A., Smirnov A.V. Experimental study of aerodynamic characteristics of granular bulk materials. *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2020. N 2(31). 29-33 (In Russian). EDN: LZPPMW.
14. Vasilenko V.V., Orobinsky V.I., Vasilenko S.V., Posokhov D.N. The relationship of aerodynamic parameters of fractions of bulk material. *Vestnik of Voronezh State Agrarian university*. 2022. Vol. 15. N4(75). 90-96 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_4_90. EDN: GATZVO.
15. Kruglov A.I., Skorlupkin D.B., Sladkov D.V. Numerical simulation of subsonic flow around a cylindrical body. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2021. N3. 331-335 (In Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-3-331-335. EDN: BDHRWF.
16. Vasilenko V.V., Orobinsky V.I., Vasilenko S.V., Posokhov D.N. Coefficient of sailing capacity of wheat seeds and its variations during aerodynamic separation. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023. Vol. 16. N2(77). 98-105 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_98. EDN: PZSDFM.
17. Sharshunov V.A., Sentyurov N.S., Tsaits M.V. Determination of the dimensional characteristics of the components of the flax pile. *Vestnik Belarusian State Agricultural Academy*. 2020. N3. 169-175 (In Russian). EDN: HDGKHE.
18. Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F. et al. Estimating Poisson's ratio and Young's modulus of the outer fruit shell of corn grain. *Agricultural machinery and technologies*. 2022. Vol. 16. N3. 20-26 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-20-26. EDN: KUELTH.
19. Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Dynamics of the fractional composition of grain-and-straw mass being threshed in the threshing mechanism of a combine harvester. *Engineering Technologies and Systems*. 2022. Vol. 32. N2. 249-262 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.032.202202.249-262. EDN: YEJPDm.
20. Sharshunov V.A., Sentyurov N.S., Tsaits M.V. Determination of the soaring speed of flax heap components. *Vestnik Belarusian State Agricultural Academy*. 2021. N2. 171-175 (In Russian). EDN: UJTAED.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Пастухов А.Г. – общее научное руководство, определение основных направлений исследования, корректировка текста и оформление общих выводов;

Добрицкий А.А. – проектирование и изготовление конструкции сушилки, проведение лабораторных опытов, обработка массива экспериментальных данных, разработка графической части публикации;

Бахарев Д.Н. – проектирование конструкции сушилки, разработка методики лабораторных опытов, оформление текстовой части публикации;

Вольвак С.Ф. – обработка массива экспериментальных данных, оформление таблиц с результатами опытов, литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Pastukhov A.G. – general scientific guidance, definition of the main directions of research, correction of the text and formulation of general conclusions;

Dobrickiy A.A. – designing and manufacturing of the dryer structure, conducting laboratory experiments, processing an array of experimental data, developing the graphic part of the publication;

Bakharev D.N. – design of the dryer structure, development of methods of laboratory experiments, design of the text part of the publication;

Volvak S.F. – processing of an array of experimental data, design of tables with the results of experiments, literary analysis.

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

07.07.2023

05.09.2023

EDN: MAJKNM

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67



Научная статья

УДК 631.532.2+631.331.072.3



Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве

Николай Викторович Сазонов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;
Максим Александрович Мосяков,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru;
Владимир Сергеевич Тетерин,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: v.s.teterin@mail.ru;

Николай Сергеевич Панферов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: nikolaj-panfyorov@yandex.ru;
Мария Михайловна Годяева,
аспирант, младший научный сотрудник,
e-mail: airrune@yandex.ru;
Максим Сергеевич Трунов,
аспирант, специалист,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Работа выполнена при государственной поддержке РНФ конкурса 2023 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными № 23-76-10062.

Реферат. При выращивании картофеля в целях селекции и семеноводства важно как можно раньше выявить зараженные растения. В связи с этим необходимо провести комплекс работ по созданию цифровой системы автоматизированного выявления и распознавания здоровых и зараженных растений. (*Цель исследования*) Определить закономерности изменения показателей качества работы машины для ухода за растениями картофеля. (*Материалы и методы*) Исследования проведены на площади селекционно-опытной делянки. Разработана система критериев для оценки идентификации зараженных растений. (*Результаты и обсуждение*) Определена требуемая достоверность измерительной операции системы технического зрения машины и прогнозирования текущего состояния системы идентификации зараженных растений с учетом статистической информации о распределении косвенного параметра (наличие признаков заражения на внутренней стороне листа растения) и погрешности его измерений. Достоверность работы системы идентификации зараженных растений зависит от точности технических средств измерений состояния растений, методов измерений, программного обеспечения обработки полученных измерений, других параметров. (*Выводы*) Управление измерительной информацией заключается в обоснованном выборе косвенного параметра, обеспечивающего точность распознавания зараженных растений с доверительным интервалом вероятности 0,95. Установлено, что точность классификации растений на первой эпохе обучения системы идентификации зараженных растений составила 0,797 или 79,7 процентов для всех растений. Корректность распознавания заболевших растений составляла 0,607 или 60,7 процентов. Стоит отметить, что уже на данной эпохе корректность распознавания здоровых растений достигала 99,9 процентов.

Ключевые слова: картофель, уход за растениями, комплекс машин, система технического зрения, программный комплекс.

■ **Для цитирования:** Сазонов Н.В., Мосяков М.А., Тетерин В.С., Панферов Н.С., Годяева М.М., Трунов М.С. Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. Т. 18. №1. С. 60-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67. EDN: MAJKNM.

Scientific article

Quality Metrics of Automated Machinery in Potato Plant Cultivation for Breeding and Seed Production

Nikolay V. Sazonov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;

Maxim A. Mosyakov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru;

Vladimir S. Teterin,Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: v.s.teterin@mail.ru;**Nikolay S. Panferov,**Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: nikolaj-panfyorov@yandex.ru;**Maria M. Godyaeva,**graduate student, junior researcher,
e-mail: airrune@yandex.ru;**Maxim S. Trunov,**graduate student, specialist,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The work is supported by the Grant of the Russian Science Foundation for the 2023 competition «Conducting research by scientific groups under the guidance of young scientists» of the Presidential program of research projects implemented by leading scientists, including young scientists No. 23-76-10062.

Abstract. The paper notes the significance of promptly identifying infected plants when cultivating potatoes for breeding and seed production. Consequently, there is a need to undertake a series of initiatives aimed at developing a digital system for automated detection and recognition of both healthy and infected plants. (*Research purpose*) The research aims to determine the patterns of changes in the quality indicators of the machinery employed in cultivating potato plants. (*Materials and methods*) The research was carried out on the area of the selection-experimental plot. A system of criteria was developed to evaluate the identification of infected plants. (*Results and discussion*) The research assisted in identifying the required reliability of the measuring operation for the machine vision system and aided in predicting its current state for identifying infected plants. This was achieved by analyzing statistical data on the distribution of the indirect parameter (indications of infection on the inside of the plant leaf) and considering the margin of error in its measurements. The reliability of the system for identifying infected plants depends on the precision of technical instruments used to gauge the plant's condition, the methodologies employed in measurement, the software utilized for processing the obtained data, and other parameters. (*Conclusions*) Measurement information management involves making a judicious selection of an indirect parameter that guarantees the precision of identifying infected plants with a confidence interval of 0.95. It is revealed that in the initial training epoch of the infected plant identification system, the accuracy of plant classification stood at 0.797, equivalent to 79.7 percent for all plants. The correctness of infected plant recognition was 0.607 or 60.7 percent. Moreover, the accuracy of correctly identifying infected plants was determined to be 0.607, or 60.7 percent. Notably, by this epoch, the accuracy of recognizing healthy plants had already reached 99.9 percent.

Keywords: potatoes, plant cultivation, machine complex, technical vision system, software package.

■ For citation: Sazonov N.V., Mosyakov M.A., Teterin V.S., Panferov N.S., Godyaeva M.M., Trunov M.S. Quality metrics of automated machinery in potato plant cultivation for breeding and seed production. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 60-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67. EDN: MAJKNM.

Получение стабильного высокого и качественного урожая в различных почвенно-климатических условиях требует создания и адаптации новых сортов, что сопряжено с рядом специфических трудно механизлируемых операций полевой стадии производства и обработки урожая на селекционно-опытных делянках [1]. Стратегическое решение проблемы механизации процессов селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства овощных культур в России путем закупки техники за рубежом нецелесообразно из-за высокой стоимости машин, комплектующих и других расходных материалов [2].

В настоящее время предлагаются различные машинно-технологические комплексы для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур, выполняющие рабочие операции по запланированному алгоритму [3]. Первую прочистку посадки картофеля проводят после появления пол-

ных всходов, когда растения достигают высоты 15-20 см, удаляются кусты, пораженные черной ножкой, ризиктониозом и вирусами. Машина, обрабатывая посадки, должна распознавать зараженные растения [4]. Необходимо выполнить комплекс работ, направленных на создание цифровой системы для автоматизированного выявления и распознавания здоровых и зараженных растений [5].

Цель исследования – определение закономерностей изменения показателей качества работы машины для ухода за растениями картофеля в селекционно-семеноводческих хозяйствах.

Материалы и методы. При движении по учетной делянке машина осуществляет распознавание и извлечение из почвы зараженных кустов картофеля для последующей утилизации. Весь технологический процесс проходит без влияния человеческого фактора, что вызывает необходимость определять изменения показателей качества работы машины

при использовании в ее конструкции элементов автоматизации и роботизации [6].

Полноту идентификации зараженных растений машины для сорто-фитопрочистки определяли по формуле [7]:

$$v_K = \frac{v_{\Pi}^I - v_{\Pi}^K}{v_{\Pi}^I} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где v_{Π}^I и v_{Π}^K – количество идентифицированных и неидентифицированных зараженных растений на площади учетной делянки, шт.

Полнота извлечения зараженных растений [13-16]

$$P_K = \frac{P_{\Pi}^I - P_{\Pi}^K}{P_{\Pi}^I} \cdot 100\% \quad (2)$$

где P_{Π}^I и P_{Π}^K – количество извлеченных из почвы и неизвлеченных зараженных растений на площади учетной делянки, шт.

Результаты и обсуждение. Точность идентификации зараженных растений обусловлена:

- требуемой достоверностью измерительной операции системы технического зрения машины;
- прогнозированием текущего состояния системы идентификации зараженных растений (СИ) с учетом статистической информации о распределении и погрешности измерений косвенного параметра ($KП$), в данном случае – это наличие признаков заражения на внутренней стороне листа растения ($KП_1$) [8].

Достоверность работы системы идентификации зараженных растений зависит от точности технических средств измерений состояния растений (v_{K1}), метода измерений (v_{K2}), программного обеспечения обработки измерений (v_{K3}), а также от n -ого параметра эффективности выбора косвенного параметра, эксплуатационного допуска на них ($ЭД$), функционального веса системы идентификации в системе работы машины. Управление полезностью измерительной информации заключается в обоснованном выборе косвенного параметра, обеспечивающего точность распознавания зараженных растений с доверительным интервалом вероятности $p = 0,95$ (Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения. Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. М.: ВНИИ механизации сельского хозяйства, 2014. С. 379-382).

При этом необходимо решить ряд частных задач: определить точность методов измерений, их достоверность, точность прогнозирования зараженных растений.

С точки зрения выбора косвенного параметра ($KП$) все показатели можно разделить на метрологические ($ПМ$) и эксплуатационные ($ПЭ$):

$$\begin{cases} P_M = \{D_{i,j}, \delta_j, \delta_{Mj}, \delta_{CUj}, \delta_{PRj}; \\ P_E = \{f_{\Delta}(x); f_{CP}(x); \sigma_{\Delta}^2; \\ \Delta P_{KПj}, f_{\Delta}(y), f_{KП}(y), \sigma_{\Delta}^2\}, \\ P_{СПП.Р}; \Delta P_{СПД.ОП}; N; T_H \} \end{cases} \quad (3)$$

где δ_1 – погрешность экспертизы; δ_{M1} – погрешность метода измерения $KП_j$; $\delta_{CП1}$ – погрешность средства измерения $KП_j$; $\delta_{ПР1}$ – погрешность прогнозирования состояния (ПС); $f_{KП}(y)$ – допуск на результат измерения $KП_j$; $f_{\Delta}(y)$ – дифференциальный закон распределения вероятности (ДЗРВ) погрешности измерения $KП_j$; $f_{KП}(y)$ – ДЗРВ значений $KП_j$; $f_{KП}(y)$ – ДЗРВ погрешности измерений ($ПМ_i$); $f_{CП}(x)$ – ДЗРВ $СП_i$; σ_{Δ}^2 и $\sigma_{CП}^2$ – дисперсии погрешности измерений $KП_j$ и $СП_i$; $P_{СП.П.Р}$ – предельное значение $СП_i$; $\Delta P_{СП.Д.ОП}$ – допустимое отклонение $СП_i$; N – число измеренных характеристик растений; T_H – наработка ОЭ.

Предельное значение $СП_i$ приводится в нормативной документации (назначается по технико-экономическому критерию или по критерию требуемой вероятности безотказной работы). Допустимое отклонение $СП_i$ и наработка T_H назначаются в нормативной документации в зависимости от $P_{СП.П.Р}$.

Поскольку

$$D = f(P_{СП.П.Р}; \Delta P_{СП.Д.ОП}; T_H), \quad (4)$$

где D – достоверность, то с учетом этих критериев можно управлять полезностью измерительной информации.

Действительно, исходя из физической природы эксплуатационного изменения $СП_i$, до некоторой наработки T_{H1} точность операций измерения $СП_i$ не имеет существенного значения, так как

$$T_H < T_{H1}, \quad (5)$$

то значение $СП_i$ еще значительно отличается от $P_{СП.П.Р}$ и даже без контроля с высокой вероятностью можно обеспечить безотказность ОЭ.

Максимальное значение достоверности измерительной информации

$$D_{i,j} = D_{i,jmax} \quad (6)$$

должно быть обеспечено в области T_H , при которых значение $СП_i$ близко к допустимому и предельному, так как принимаемое решение о годности ОЭ к эксплуатации связано с ошибками 1-го и 2-го рода, что приводит к росту издержек.

Из-за изменения показателей ДЗРВ $СП_i$ с течением времени для обеспечения требуемого значения $D_{i,j}$ методы и средства измерений должны иметь различные показатели точности при различной наработке оборудования. ДЗРВ значений $СП$ машин чаще всего является нормальным или описывается законом Вейбулла, а погрешности измерений $KП$

описываются нормальным или равномерным ДЗРВ.

С учетом вышеизложенного требования к точности средств измерений должны формироваться исходя из реальных значений T_{Hmax} или из значений

$$T_H \{f_{СП}(x)|_{max}\}, \quad (7)$$

соответствующих области максимальных значений ДЗРВ $\{f_{СП}(x)|_{max}\} СП_i$.

Источник информации может выдавать дискретные или непрерывные сигналы со средней скоростью (производительностью) источника:

$$R_U = \frac{I_U(\tau)}{\tau}, \quad (8)$$

где $I_U(\tau)$ – производительность источника; τ – среднее количество информации в сообщении, время передачи которого не превышает времени τ ; время передачи одного сообщения τ , секунд (скорость передачи информации, соответствующая передаче двоичной единицы (0;1) за секунды).

В качестве обобщенных параметров переносчика информации (информационного сигнала) можно принять: ширину амплитудно-частотного спектра F_c , отношение сигнал/помеха Q_c , длительность существования τ_c и объем сигнала V_c .

$$Q_c = \log\left(\frac{P_c}{P_n}\right), \quad (9)$$

где P_c и P_n – средние мощности сигнала и помехи.

$$V_c = F_c Q_c \tau_c. \quad (10)$$

Для идентификации зараженных растений картофеля разработан программный комплекс на основе сверточной нейронной сети *ResNet34*, предназначенной для анализа изображений и последующего определения заболевших растений [9]. Используемая нейронная сеть обладает 34 слоями, ее архитектура представлена на рисунке 1.

Традиционная сверточная или полносвязная нейронная сеть будет иметь потерю информации и другие проблемы при передаче данных, в то же время это приведет к исчезновению или всплеску градиента, что в свою очередь способно вызывать проблемы в ее обучении [10]. Нейронная сеть на основе архитектуры *ResNet* в определенной степени решает эту проблему. Она защищает целостность данных, напрямую обходя входную информацию и выводя ее. Всей сети нужно только изучить часть разницы между входом и выходом, что упрощает ее обучение.

Так, структура нейронная сеть *ResNet34* разбита на 4 группы. Первая группа имеет в своем составе три остаточных блока (*рис. 1*).

В представленном остаточном блоке содержится два сверточных слоя, при этом на вход первого сверточного слоя поступает нулевой слой, тензор x . В общем понимании тензором называется N -мерный массив чисел, в данном случае представляющий собой матрицу чисел, характеризующих изображение. Затем после первого слоя вычисляется активация с помощью функции активации *ReLU* (*рис. 2*), в результате полученные выходы нейронов идут на вход следующим нейронам второго сверточного слоя.

ReLU – наиболее часто используемая функция активации в нейронных сетях, особенно в сетях сверточного типа. Для всех положительных значений *ReLU* является линейным (тождественным), для всех отрицательных значений *ReLU* равно нулю.

Вторая, третья и четвертая группы содержат соответственно 4, 5 и 3 остаточных блока. В каждой группе, кроме первой, сверточный фильтр совершает проход по тензору x с шагом два (*stride* = 2 или «/2»).

После каждой группы слоев уменьшается раз-

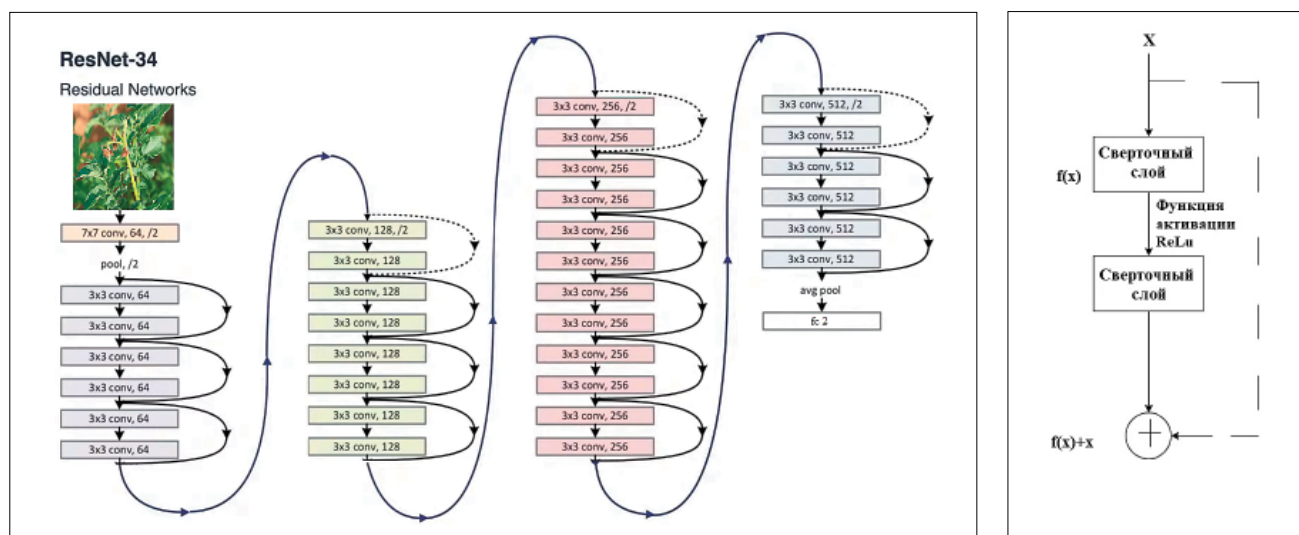


Рис. 1. Архитектура используемой нейронной сети *ResNet34* (слева) и общий вид остаточного блока (справа)
Fig. 1. Architecture of the *ResNet34* neural network (left) and general view of the residual block (right)

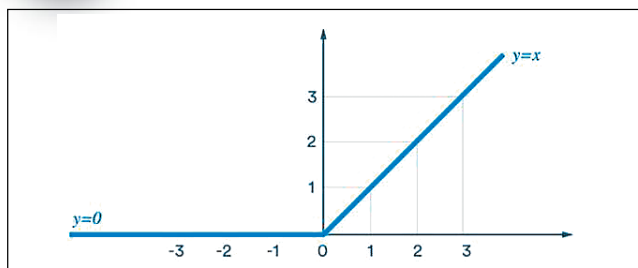


Рис. 2. График функции активации ReLu

Fig. 2. Rectified Linear Unit (ReLU) activation function graph

мер тензора по высоте и ширине и увеличивается количество фильтров в 2 раза (64, 128, 256, 512). Уменьшение размера тензора необходимо для увеличения рецептивного поля (Receptive Field) в более поздних слоях сети.

На примере человеческого зрения данный принцип работы можно описать следующим образом: вся область, которую может видеть человеческий глаз, называется полем зрения. Зрительная система человека состоит из миллионов нейронов, каждый из которых улавливает разную информацию. Таким образом рецептивное поле нейрона можно определить, как участок всего поля зрения [11].

В структуре нейронной сети ResNet34 в начале каждой группы слоев (кроме первой) можно увидеть остаточный блок с пунктирной связью (рис. 3).

Рассмотрим вторую группу блоков. Первый слой

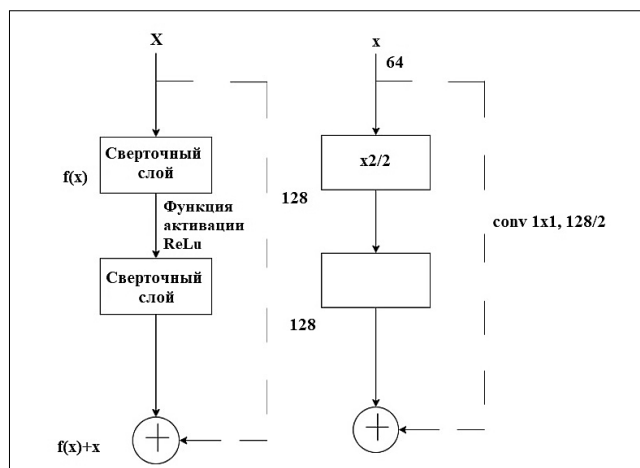


Рис. 3. Остаточный блок с пунктирной связью: общий вид (слева) и вид блока, характерный для второй группы (справа)

Fig. 3. Residual block with dotted connection: general view (left) and block type typical of the second group (right)

для этой группы блоков характеризуется тем, что, во-первых, шаг всегда равен 2, во-вторых, вдвое больше фильтров, чем в предыдущей группе блоков. Получается, что глубина на входе слоя составляет 64, на выходе из сверточного слоя – 128 и на выходе второго слоя тоже 128, сложность будет заключаться на этапе сложения. Тензор x размером

$W \times H \times R$ должен быть сложен с выходом второго слоя, который имеет размеры $W/2 \times H/2 \times 2R$. Решение этой проблемы заключается в использовании свертки размером 1×1 , которая проходит с шагом 2, количество таких фильтров 128, следовательно, проблема сложения тензоров с разными глубинами R и $2R$ будет решена за счет увеличения количества фильтров. Проблема разной ширины и высоты будет решена за счет шага 2.

Также стоит заметить, что перед первой группой блоков стоит операция Pooling. Задача этой операции – без потери информации уменьшить размер тензора. Pooling с шагом 2 увеличивает рецептивное поле. Процесс вычисления Pooling представлен на рисунке 4.

Последний слой используемой нейронной сети

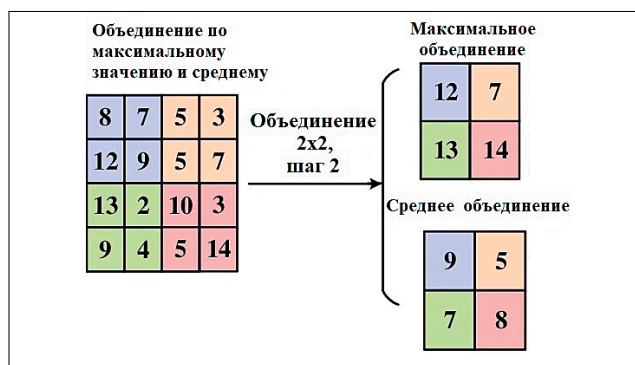


Рис. 4. Пример проведения операции Pooling для максимального и среднего значений

Fig. 4. An example of the Pooling operation for maximum and average values

полносвязный с 2 нейронами, так как конечным результатом являются 2 класса значений – большие и здоровые кусты картофеля.

Разделение нейронной сети на сверточную и полносвязную части имеет функциональное значение. В частности, задача сверточной части – вычисление «хороших» характеристик от изображения, а полносвязной – принять итоговое решение на основе тензора, пришедшего от сверточной части. Перед полносвязным слоем в 2 нейрона находится Average global pooling – он превращает карту характеристик в одно число [12].

ResNet34 на входе принимает изображение размером 224×224 пикселя в RGB канале, после первого слоя прохода сверткой 7×7 изображение меняет размер на 112×112 пикселей, также пулинг с шагом 2. Во вторую группу блоков изображение заходит размером 28×28 пикселей, в третью – 14×14 пикселей, в четвертую – 7×7 пикселей, и тензор $7 \times 7 \times 512$ превратится в вектор, в котором 512 значений.

Стоит отметить, что для работы с нейронными сетями требуется наличие достаточно больших вычислительных мощностей графического процессо-

ра GPU [13]. Использование именно графических процессоров для обучения нейронных сетей связано в первую очередь с различием архитектуры их построения в сравнении с центральными процессорами CPU. Графические процессоры, благодаря архитектуре своего ядра, эффективно справляются с большим количеством несложных однотипных задач, в связи с чем обладают высокой производительностью.

Обучение нейронных сетей на CPU способно занять несколько месяцев, в то время как графические процессоры с данной задачей способны справиться за несколько дней. При этом GPU обладают меньшим энергопотреблением.

Способность к быстрому обучению нейронных сетей на графических процессорах связаны в первую очередь с их особенностью решать параллельно несколько задач, а сами нейронные сети представляют собой параллельные алгоритмы [14]. Кроме того, графические процессоры оптимизированы для матричных операций и ускоряют их – они необходимы нейронным сетям для получения результата [15].

В связи с этим для реализации нейронной сети, основанной на архитектуре ResNet34, тренировки и испытания ее применимости для определения здоровых и заболевших растений картофеля был использован сервис Google Collaboratory. Данный ресурс представляет собой облачный сервис, позволяющий получить удаленный доступ к машине с подключенной видеокарой.

Для проведения корректной тренировки нейронной сети на изображениях листьев и растений картофеля к фотографиям применялись следующие требования:

- отсутствие на изображениях посторонних объектов;
- постоянная высота, на которой делаются снимки;
- светочувствительность камеры (ISO) настраивается таким образом, чтобы не было белых пятен на изображении (засветов).

В качестве тренировочной выборки была использована библиотека, состоящая из 3731 фотографии заболевших и 1520 фотографий листьев и растений картофеля (рис. 5).

Кроме того, для последующей корректировки весов нейронной сети была подготовлена валидационная выборка для проверки работоспособности модели, состоящая из 480 фотографий здоровых и 1269 фотографий больных растений. По результатам самотестирования была получена матрица ошибок (рис. 6).

Анализ матрицы показывает, что доля ошибочно распознанных изображений валидационной выборки составляет менее 1%, это свидетельствует о высокой работоспособности и корректности распознавания модели.

Кроме того, для определения качества работы про-

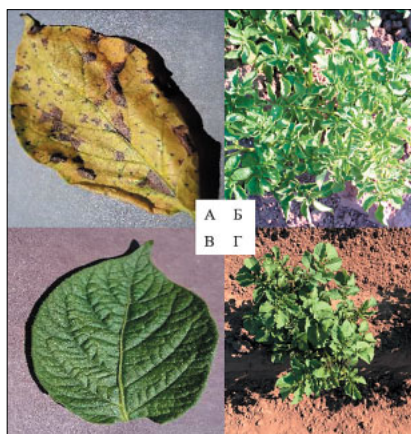


Рис. 5. Изображения листа и растения картофеля: сверху – зараженные растения; внизу – здоровые растения
Fig. 5. Images of a potato leaf and plant: top – infected plants; below – healthy plants

Фактический Здоровые	Заболевшие	1736	13
	Здоровые	12	1737
		Прогноз	

Рис. 6. Матрица ошибок

Fig. 6. Error Matrix

граммного комплекса по выявлению заболевших растений картофеля проведена серия испытаний. С этой целью была подготовлена тестовая выборка фотографий, не участвующих в обучении нейронной сети, по 25 изображений здоровых и больных растений (рис. 7).

В исследовании оценивалась точность распе-



Рис. 7. Примеры здоровых (слева) и заболевших (справа) растений из тестовой выборки

Fig. 7. Examples of healthy (left) and infected (right) plants from the test sample

деления растений к той или иной группе. Полученные вероятности заносились в таблицу. На основании полученных данных была построена графическая зависимость показывающая среднее значение

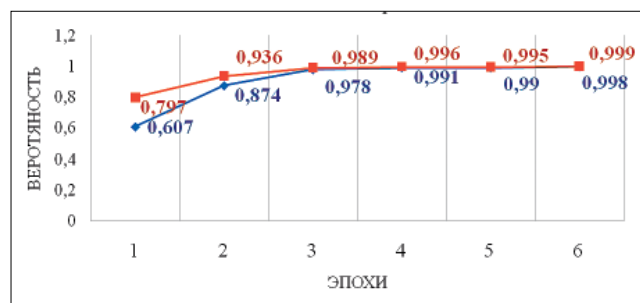


Рис. 8. Зависимость точности распределения от количества пройденных эпох обучения

Fig. 8. Dependence of distribution accuracy on the number of training epochs

точности распределения исходя из количества эпох обучения (рис. 8).

Выводы.

Результаты проведенных исследований позволили установить, что точность классификации растений на первой эпохе обучения идентификации зараженных растений составила 0,797 или 79,7% для всех растений, при этом корректность распознавания заболевших растений составляла 0,607 или 60,7%. Уже на этой эпохе корректность распознавания здоровых растений составляла 99,9%.

С увеличением количества проведенных эпох обучения наблюдается рост корректных распознаваний: уже на четвертой эпохе корректность распознавания для всех растений превышает 99,5%, а на шестой эпохе достигает 99,9% для всех растений и 99,8% для зараженных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации // *Овощи России*. 2023. N5. 5-10. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
- Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В., Пономарев А.Г., Сазонов Н.В. Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. N3. С. 85-92. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
- Yanykin D.V., Pashin M.O., Simak A.V., et al. Plant photochemistry under glass coated with up conversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. 12. 7480. DOI: 10.3390/app12157480.
- Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402. DOI: cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133372449.
- Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1164855.
- Dorokhov A., Aksenov A., Sibirev A. et al. Results of laboratory studies of the automated sorting system for root and onion crops. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. N6. 1257. DOI: 10.3390/AGRONOMY11061257. EDN: EMOYFO.
- Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5. EDN: KIGZDF.
- 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. N16(4). С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
- Попов В.Д., Валге А.М., Папушин Э.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства с использованием информационных технологий // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2009. Т. 81. С. 32-39. EDN: THYQKD.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки Agritechnika 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N6. С. 28-40. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
- Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Математическое моделирование как инструмент проектирования сельскохозяйственных машин и агрегатов (применительно к истории развития научной школы Южного Урала) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
- Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2. С. 40-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
- Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and for age oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997. N40 (3-4). 25-144. DOI: 10.1016/S0167-1987(96)01075-6.
- Федоренко В.Ф. Тенденции цифровизации и интеллектуализации сельского хозяйства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 231-241. EDN: IKJJHN.
- Черноиванов В.И. Цифровые технологии в АПК // *Техника и оборудование для села*. 2018. N5. С. 2-4. EDN: XORBJR.

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. The current state of technological support for the production of vegetable crops in the Russian Federation. *Vegetables of Russia*. 2023. N5. 5-10 (In Russian). DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
2. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. et al. Theoretical prerequisites for intensifying the harvesting of onion sets. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. N3. 85-92 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
3. Yanykin D.V., Pashkin M.O. Simakin A.V. et al. Plant photochemistry under glass coated with upconversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. 12. 7480 (In English). DOI: 10.3390/app12157480.
4. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402 (In English). DOI: cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133372449.
5. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions on the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114 (In English). DOI: 10.1080/0305215X.2016.1164855.
6. Dorokhov A., Aksenov A., Sibirev A., et al. Results of laboratory studies of the automated sorting system for root and onion crops. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. N6. 1257 (In English). DOI: 10.3390/AGRONOMY11061257. EDN: EMOYFO.
7. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agro-engineering scientific organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5. EDN: KIGZDF.
8. Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. N16(4). 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
9. Popov V.D., Valge A.M., Papushin E.A. Increasing the efficiency of crop production using information technology. *Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products*. 2009. Vol. 81. 32-39 (In Russian). EDN: THYQKD.
10. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. et al. Modern technologies and equipment for agriculture - trends at the Agritechnika 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020. N6. 28-40 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
11. Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Mathematical modeling as a tool for designing agricultural machines and units (in relation to the history of the development of the scientific school of the Southern Urals). *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
12. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Medvedev G.V. Development of an experimental phytotron and its application in research on the energy ecology of light culture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 40-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
13. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997. N40 (3-4). 25-144 (In English). DOI: 10.1016/S0167-1987(96)01075-6.
14. Fedorenko V.F. Trends in digitalization and intellectualization of agriculture. *Innovations in Agriculture*. 2019. N1(30). 231-241 (In Russian). EDN: IKJJHN.
15. Chernoiwanov V.I. Digital technologies in the agro-industrial complex. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2018. N5. 2-4 (In Russian). EDN: XORBJR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Сазонов Н.В. – концептуализация, научное руководство;
Мосяков М.А. – концептуализация, научное руководство, методология;

Тетерин В.С. – концептуализация, проведение исследований;
Панферов Н. С. – концептуализация, визуализация;
Годяева М.М. – методология, проведение исследований;
Трунов М.С. – поиск и анализ литературы.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Sazonov N.V. – conceptualization, scientific guidance;
Mosyakov M.A. – conceptualization, scientific guidance, methodology;

Teterin V.S. – conceptualization, research;
Panferov N. S. – conceptualization, visualization;
Godyaeva M.M. – methodology, research;
Trunov M. S. – 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

10.01.2024

26.02.2024



Исследование процесса бороздообразования ротационными рабочими органами с активным приводом

Максат Амантайулы Амантаев,

доктор философии,

и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru;

Руслан Иванович Кравченко,

доктор философии,

и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru;

Евгений Александрович Золотухин,

доктор философии, и.о. ассоциированного профессора,

e-mail: zolotukhinel7@mail.ru;

Турсынай Сериковна Төлеміс,

докторант PhD,

e-mail: tursynay17@mail.ru;

Абылайхан Нурмагамбетович Табулденов,

докторант PhD,

e-mail: inzhenertsesna@gmail.com

Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан

Реферат. Ротационные рабочие органы с активным приводом находят широкое применение в сельском хозяйстве. Однако процесс бороздообразования в случае их использования остается недостаточно изученным. (*Цель исследования*) Изучить процесс бороздообразования исполнительными элементами ротационных рабочих органов с активным приводом. (*Материалы и методы*) Эксперименты проводились на лабораторной установке в песчаном канале, заполненном песчаной почвой. Угол атаки рабочих органов составлял 30-90 градусов, кинематический параметр варьировался в диапазоне 0,8-2,2. Исполнительный элемент ротационных рабочих органов выполнен по круглой и эллиптической форме лезвия с наименьшей кривизной линии (большой полуоси эллипса). Исполнительный элемент с эллиптической формой лезвия имеет возможность изменять угол наклона относительно оси вращения рабочего органа (*Результаты и обсуждение*) Ротационные рабочие органы с исполнительным элементом круглой формы лезвия формируют борозду, параллельную направлению движения. Установлено, что с ростом угла атаки рабочего органа от 30 до 90 градусов ширина борозды увеличивается почти в 2 раза. Исполнительный элемент, выполненный по эллиптической линии лезвия, образует борозду, имеющую форму параллелограмма при виде сверху. При малом угле атаки образуется короткая, узкая борозда, отклоненная от направления движения агрегата в границах ширины захвата ротационного рабочего органа. (*Выводы*) Полученные результаты позволяют выбрать параметры исследуемых ротационных рабочих органов, которые обеспечат формирование оптимальных параметров борозды. За счет этого повысится выровненность дна борозды и степень уничтожения сорняков, т.е. улучшится качество обработки почвы.

Ключевые слова: ротационные рабочие органы, бороздообразование, исполнительный элемент, угол атаки, кинематический параметр.

■ **Для цитирования:** Амантаев М.А., Кравченко Р.И., Золотухин Е.А., Төлеміс Т.С., Табулденов А.Н. Исследование процесса бороздообразования ротационными рабочими органами с активным приводом // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 68-73. DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-1-68-73. EDN: IRNIWK.

Scientific article

Investigation of Furrow Formation by Rotary Tillage Tools with an Active Drive

Maxat A. Amantaev,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru;

Ruslan I. Kravchenko,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru;

Yevgeniy A. Zolotukhin,

Ph.D.(Eng.), acting associate professor,

e-mail: zolotukhinel7@mail.ru;

Tursynay S. Tolemis,

Ph.D. student (Eng.),

e-mail: tursynay17@mail.ru;

Abylaikhan N. Tabuldenov,

Ph.D. student (Eng.),

e-mail: inzhenertsesna@gmail.com

A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Abstract. Power driven rotary tillage tools are widely used in agriculture. However, the process of furrow formation by these tillage tools remains insufficiently studied. (Research purpose) To study the process of furrow formation by the actuating elements of rotary working bodies with an active drive. (Materials and methods) The experiments were carried out on a laboratory setup in a soil bin filled with sandy soil. The attack angle of the working elements ranged from 30 to 90 degrees, and the kinematic parameter varied from 0.8 to 2.2. The actuating element of the investigated rotary tillage tools was made in both circular and elliptical blade forms with the least curvature line (the major semi-axis of the ellipse). The actuating element with an elliptical blade has the ability to adjust the angle of inclination relative to the axis of rotation of the of the tillage tool. (Results and discussion) Rotary tillage tools with a circular blade form a furrow parallel to the travel direction. It has been established that an increase in the attack angle of the tillage tool from 30 to 90 degrees results in a twofold increase in the width of the furrow. The actuating element, made along the elliptical line of the blade, forms a furrow having the shape of a parallelogram when viewed from above. At a small angle of attack, this actuating element forms a short, narrow furrow deviating from the unit's travel direction within the boundaries of the furrow width of the rotary tillage tool. (Conclusions) The results obtained make it possible to choose the parameters for the studied rotary tillage tools, which will ensure the formation of optimal furrows. This will increase the evenness of the furrow bottom and the degree of weed destruction, i.e. improved soil quality.

Keywords: rotary tillage tool, furrow formation, actuating element, angle of attack, kinematic parameter.

■ For citation: Amantaev M.A., Kravchenko R.I., Zolotukhin Ye.A., Tolemis T.S., Tabuldenov A.N. Investigation of furrow formation by rotary tillage tools with an active drive. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 68-73 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-68-73. EDN: IRNIWK.

Процесс обработки почвы всегда сопровождается образованием борозды, параметры которой зависят от вида, геометрических и кинематических характеристик применяемых орудий [1, 2]. Известны дисковые и кольцевые ротационные рабочие органы [3]. Во время обработки почвы они совершают поступательное и вращательное движение [4, 5].

Исполнительные элементы рабочих органов круглой формы лезвия располагаются перпендикулярно к оси вращения. В процессе работы точки лезвия описывают поверхность цилиндра [6, 7].

Ротационный рабочий орган второй разновидности снабжается исполнительными элементами, выполненными по эллиптической форме лезвия с наименьшей кривизной линии (большой полуоси эллипса) [8, 9]. Относительно оси вращения они расположены наклонно под острым углом α . За счет этого точки исполнительных элементов лезвия такой формы также описывают поверхность цилиндра [9].

Таким образом, ротационные рабочие органы принципиально отличаются друг от друга формой лезвия исполнительных элементов. Общим признаком является то, что плоскость вращения рабочих органов отклонена от направления движения на угол атаки $30^\circ < \beta < 90^\circ$. Они могут функционировать как в пассивном, так и в активном режиме. В первом случае вращение происходит за счет взаимодействия с почвой, во втором – за счет энергии, подводимой к рабочему органу от двигателя трактора [10, 11].

Исследователи, как правило, ограничиваются изучением траектории движения только одной точки лезвия рабочего органа [12]. При этом траектория одной точки не характеризует все параметры

образуемой борозды [13, 14]. Форма и параметры борозды зависят от формы лезвия исполнительного элемента, угла его наклона к оси вращения, угла атаки и кинематического режима вращения [15, 16]. Сочетание всех этих факторов дает бесконечное множество вариантов образования борозды [17]. В связи с этим необходимо изучить особенности бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов.

Цель исследования – процесс бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов с активным приводом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для постановки эксперимента была разработана и изготовлена лабораторная установка почвенного канала (рис. 1).

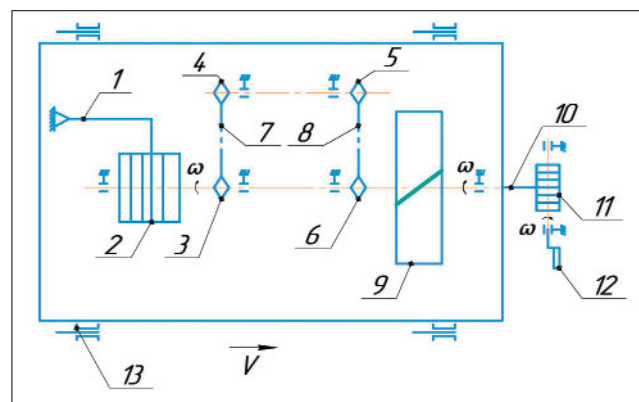


Рис. 1. Кинематическая схема лабораторной установки
Fig. 1. Kinematic diagram of a laboratory plant

В ее состав входят тросы 1 и 10 разматывающего барабана 2, блоки звездочек 3-6, цепные передачи 7 и 8, рабочий орган 9, наматывающий барабан 11 с рукояткой 12 для привода механизма, подшип-

ники скольжения 13. На лезвии исполнительного элемента закреплен заостренный маркер, имитирующий работу точки лезвия.

Особенность конструкции установки почвенного канала заключается в том, что возможно изменение кинематического режима работы исследуемых рабочих органов. Исполнительный элемент выполнен по круглой и эллиптической форме лезвия. При эллиптической форме угол наклона относительно оси вращения рабочего органа может изменяться.

Канал наполняется песчаной почвой, влажность которой в слое 0-10 см поддерживалась в пределах 20-22%. Опыты выполнялись в трехкратной повторности согласно принятому плану, приведенному в таблице.

Согласно методике исследования, после прохода рабочих органов (за один оборот) извлеченную из борозды почву аккуратно убирали. Затем при помощи белой нити и иглы очерчивались линии профиля сформированной борозды. Борозду фотографировали, и снимки обрабатывались в соответствующем масштабе с использованием программы *Compas-3D* (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Анализ полученных изображений борозды, образуемой элементами круглой и эллиптической формы лезвия, показал следующие закономерности.

Бороздообразование исполнительным элементом круглой формы лезвия

Вид сверху борозды при использовании исполнительного элемента круглой формы лезвия представлен на рисунке 3. Это непрерывная борозда, параллельная направлению движения по всей длине обрабатываемой загонки.

При проходе через почву рабочий орган совершает поступательное и вращательное движение. За счет этого точка исполнительного элемента заглубляется в почву и выглубляется из нее по определенной криволинейной траектории. По такой же траектории движется каждая точка.

От точки *A* до максимальной глубины *h* происходит заглубление, затем – выглубление до точки *Д*. Таким образом все траектории начинаются и завершаются по продольным линиям (на рисунке 3 отмечены пунктиром по направлению движения агрегата), проходящим через точки *A* и *Д*.

Проекции траекторий на горизонтальную плоскость (поверхность почвы) представляют отрезки

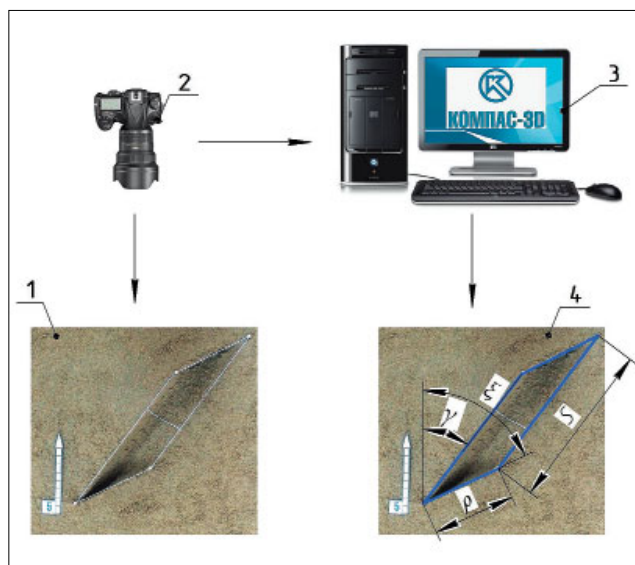


Рис. 2. Схема исследования бороздообразования исполнительным элементом: 1 – почвенный канал; 2 – фотоаппарат; 3 – персональный компьютер; 4 – борозда после обработки в программе КОМПАС-3D: *S* – продольная длина борозды, мм; *p* – поперечная длина борозды, мм; ξ – угол наклона направления дна борозды к направлению движения, град; γ – угол наклона начальной границы борозды к направлению движения, град

Fig. 2. Flow diagram for the investigation of furrow formation by the actuating element: 1 – soil bin; 2 – photo camera; 3 – personal computer; 4 – furrow after processing in the program COMPAS-3D program: *S* – the longitudinal length of the furrow, mm; *p* – the transverse length of the furrow, mm; ξ – the angle of inclination of the furrow's bottom with respect to the travel direction, degrees; γ – the angle of inclination of the furrow's initial boundary to the travel direction, degrees

прямых линии. Отрезок *AD* является проекцией траектории точки исполнительного элемента, которая обрабатывает почву. Таким образом, отрезки между продольными линиями, проходящими через точки *A* и *Д*, характеризуют проекции других точек лезвия в почву на ее поверхность. За счет прохода всех точек лезвия формируется непрерывная борозда, параллельная направлению движения агрегата. Отрезки *AD* и другие, проецирующие траектории точек лезвия, равны, параллельны и отклонены от направления движения на угол γ .

С ростом угла атаки рабочего органа от 30 до 90° ширина борозды возрастает почти в 2 раза.

Таблица	План экспериментов / THE PLAN OF EXPERIMENTS		Table
Форма лезвия исполнительного элемента рабочего органа	Круглая	Эллиптическая	
Кинематический параметр λ	0,8-2,2		
Угол наклона исполнительного элемента к оси вращения α , град	90	10-40	
Угол атаки β , град	30-90		

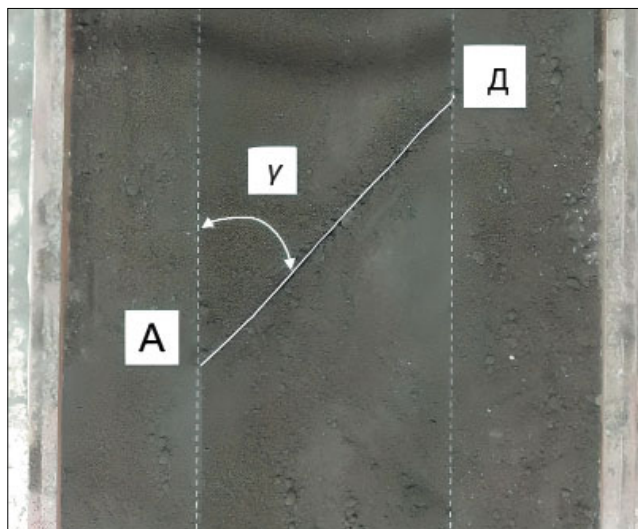


Рис. 3. Борозда, сформированная исполнительным элементом круглой формы
Fig. 3. The furrow formed by the circular actuating element

Бороздообразование исполнительным элементом эллиптической формы лезвия

Вид сверху борозды, образуемой исполнительным элементом от заглабления до полного выглабления, представляет собой параллелограмм $ABCD$ (рис. 4). Отрезки AB и CD – боковые стороны борозды параллельны, равны друг другу и отклонены от направления движения на угол ξ [12].

Во время обработки почвы передняя точка исполнительного элемента эллиптической формы лезвия заглабляется в почву и выглабляется из нее по

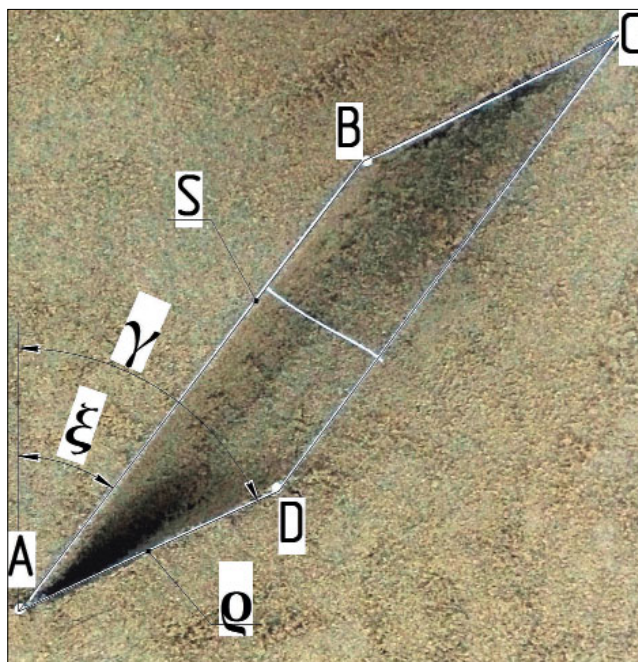


Рис. 4. Борозда, сформированная исполнительным элементом эллиптической формы лезвия
Fig. 4. The furrow formed by the actuating element with an elliptical blade

криволинейной траектории AD . Данная траектория идентична траектории движения в почве точки элемента круглой формы лезвия. Аналогично, заглабление в почву происходит от точки A до максимальной глубины h , а от h до точки D – выглабление.

Движение каждой точки лезвия начинается по линии AB и завершается по линии DC . Проекции траектории на поверхность почвы (горизонтальную плоскость) представляют отрезки прямых линий. Отрезок AD является проекцией траектории передней точки исполнительного элемента эллиптической формы лезвия, которая начинает обрабатывать почву, а отрезок BC – крайней точки лезвия, завершающей обработку почвы. Между AD и BC находятся отрезки – проекции траекторий движения других точек. После прохода всех точек лезвия в почве формируется борозда $ABCD$.

Таким образом, точки лезвий исполнительных элементов обеих рассматриваемых форм лезвия движутся в почве по совершенно одинаковым траекториям.

Отрезки AD и BC равны, параллельны и отклонены от направления движения на угол γ . Можно констатировать, что углы γ для обеих форм лезвия исполнительного элемента тоже равны. При этом с увеличением угла атаки от 30 до 90° угол ξ уменьшается до минимального значения. При малых углах атаки рабочего органа формируются более узкие и короткие борозды с отклонением направления движения агрегата в границах ширины захвата самого рабочего органа.

Выводы. Разработана методика исследования бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов, с помощью которой становится возможным найти решение задач по разработке и обоснованию параметров ротационных рабочих органов с активным приводом.

Ротационные рабочие органы с исполнительным элементом круглой формы лезвия формируют непрерывную борозду, параллельную направлению движения, по всей длине обрабатываемой загонки.

Исполнительный элемент с эллиптической формой лезвия образует борозду в виде параллелограмма. Эти борозды при малых углах атаки рабочего органа более узкие, короткие и отклонены от направления движения агрегата в пределах ширины захвата самого рабочего органа.

Точки лезвий исполнительных элементов обеих форм движутся в почве по совершенно одинаковым траекториям.

Полученные данные позволяют выбрать параметры исследуемых ротационных рабочих органов, которые обеспечат формирование оптимальной борозды. За счет этого повысится выровненность дна борозды, степень уничтожения сорняков и таким образом улучшится качество обработки почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Ценч Ю.С. Комплекс машин АГРОМАШ для обработки залежных земель // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 40-47. EDN: RXFMCP.
2. Шаров В.В., Лобачевский Я.П. Прогноз использования почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2009. N1-2. С. 41-43. EDN: HUSGMV.
3. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197. EDN: ZAWQJF.
4. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modelling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77. DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
5. Жук А.Ф., Сохт К.А. Размещение сферических дисков фронтальных борон // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. N12(4). С. 53-56. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56.
6. Вольский В.А. Определение составляющих силы тягового сопротивления сферического дискового рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N3. С. 35-38. EDN: SIWAON.
7. Nalavade P., Soni P., Salokhe V.M. Niyamapa T. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs. *International Agricultural Engineering Journal*. 2011. 20(4). 18-26.
8. Кравченко Р.И., Амантаев М.А., Золотухин Е.А. и др. Особенности функционирования ротационных рабочих органов с острым углом атаки к направлению движения // *3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация*. 2022. N4. С. 149-157. DOI: 10.52269/22266-070_2022_4_149.
9. Amantayev M., Gaifullin G., Kravchenko, et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24. N4. 704-709.
10. Upadhyay G., Rahman H. Specific draft estimation model for offset disc harrows. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 191. 75-84. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.021.
11. Nalavade P.P., Soni P., Salokhe V.M., Niyamapa T. Development of a powered disc harrow for on-farm crop residue management. *International Agricultural Engineering Journal*. 2013. 20(1). 49-60.
12. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. N6. С. 4-7. EDN: KJBHZN.
13. Матяшин Ю.И., Матяшин Н.Ю., Матяшин А.Н. Силовой анализ работы ротационных почвообрабатывающих машин // *Вестник МГАУ*. 2008. N3. С. 46-51. EDN: JWWZPB.
14. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. T. 14. N1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21. EDN: HYFQAN.
15. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8(278). С. 8-11. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>. EDN: RBWZHM.
16. Акимов А.П., Константинов Ю.В., Федоров Д.И. Методика расчета сопротивления и момента сопротивления резанию почвы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. N3 (80). С. 32-35. DOI: 10.17816/0321-4443-65880.
17. Амантаев М.А., Гайфуллин Г.З., Төлеміс Т.С., Кравченко Р.И. Траектория движения кольцевого рабочего органа с активным приводом и продольной осью вращения для поверхностной обработки почвы // *3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация*. 2022. N3. С. 62-71. DOI: 10.52269/22266070_2022_3_62.

REFERENCES

1. Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Tsench Yu.S. Complex of AGROMASH machines for processing fallow lands. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 40-47 (In Russian). EDN: RXFMCP.
2. Sharov V.V., Lobachevsky Ya.P. Forecast of the use of tillage machines with active working bodies. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2009. N1-2. 41-43 (In Russian). EDN: HUSGMV.
3. Lobachevsky Ya.P., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Digital technologies in tillage. *Innovacii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian). EDN: ZAWQJF.
4. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modelling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
5. Zhuk A.F., Sokht K.A. Arrangement of spherical disks for frontal harrows. *Agricultural machinery and technologies*. 2018. N12(4). 53-56 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56.
6. Volsky V.A. Determination of the components of the traction resistance force of a spherical disk working body. *Agricultural machinery and technologies*. 2014. N3. 35-38 (In Russian). EDN: SIWAON.
7. Nalavade P., Soni P., Salokhe V.M. Niyamapa T. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs. *International Agricultural Engineering Journal*. 2011. 20(4). 18-26 (In English).
8. Kravchenko R.I., Amantayev M.A., Zolotukhin E.A. et al. Functioning features of rotary tillage tools with an acute angle of attack to the travel direction. *3i: intellect, idea,*

- innovation – intellekt, ideya, innovatsiya*. 2022. N4. 149-157 (In Russian). DOI: 10.52269/22266070_2022_4_149.
9. Amantayev M., Gaifullin G., Kravchenko et al. Investigation of the furrow formation by the disc tillage tools. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24. N4. 704-709 (In English).
 10. Upadhyay G., Rahman H. Specific draft estimation model for offset disc harrows. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 191. 75-84 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2019.03.021.
 11. Nalavade P.P., Soni P., Salokhe V.M., Niyamapa T. Development of a powered disc harrow for on-farm crop residue management. *International agricultural engineering journal*. 2013. 20(1). 49-60 (In English).
 12. Matyashin Yu.I., Matyashin N.Yu. Kinematics of rotary tillage machines. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2008. N6. 4-7 (In Russian). EDN: KJBHZN.
 13. Matyashin Yu.I., Matyashin N.Yu., Matyashin A.N. Force analysis of the operation of rotary tillage machines. *Vestnik GAU*. 2008. N3. 46-51 (In Russian). EDN: JWWZPB.
 14. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21. EDN: HYFQAN.
 15. Akhalaia B.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S. et al. A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N8(278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
 16. Akimov A.P., Konstantinov Yu.V., Fedorov D.I. Methodology for calculating the resistance and moment of resistance to soil cutting. *Tractors and agricultural machinery*. 2013. N3(80). C. 32-35 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-65880.
 17. Amantaev M.A., Gayfullin G.Z., Tolemis T.S., Kravchenko R.I. Trajectory of the ringtillage tool with the power drive and longitudinal axis of rotation for the surface tillage of soil. *3i: intellect, idea, innovation – intellekt, ideya, innovatsiya*. 2022. N3. 62-71 (In Russian). DOI: 10.52269/22266070_2022_3_62.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Амантаев М.А. – научное руководство, разработка лабораторной установки почвенного канала;
 Кравченко Р.И. – разработка методики исследования бороздообразования исполнительным элементом ротационных рабочих органов;
 Золотухин Е.А. – анализ и обработка полученных в результате экспериментов данных;
 Төлеміс Т.С. – изучение состояния вопроса, изготовление лабораторной установки почвенного канала;
 Табулденов А.Н. – проведение экспериментов с двумя типами рабочих органов, анализ литературы.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Amanthaev M.A. – scientific guidance, development of the laboratory unit for the soil channel.
 Kravchenko R.I. – development of the methodology for studying furrow formation by the rotating working elements.
 Zolotukhin E.A. – analysis and processing of the data obtained from experiments.
 Tolemis T.S. – review of the state of the art, construction of the laboratory unit for the soil channel.
 Tabuldenov A.N. – conducting experiments with two types of working elements, 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

04.09.2023
 23.10.2023



Влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля в системе органического земледелия

Антон Михайлович Захаров,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: bauermw@mail.ru;

Евгений Александрович Мурзаев,
научный сотрудник,
e-mail: murzaev.e.a@mail.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Отмечено, что за последние годы в России возрос интерес к органическому сельскому хозяйству как производителей, так и потребителей продовольственных товаров. Однако при переходе от интенсивного ведения агропроизводства к органическим технологиям возникают определенные проблемы. Это касается возделывания растениеводческой продукции, в частности картофеля, поскольку при запрете на использование традиционных минеральных удобрений необходим поиск рациональных научно-обоснованных альтернативных способов. *(Цель исследования)* Изучить влияние глубокой обработки междурядий картофеля на урожайность клубней без применения удобрений. *(Материалы и методы)* Для адаптации технологий возделывания культур, характерных для Северо-Западного региона, под требования органического производства на базе опытных полей Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства был заложен шестипольный севооборот, включающий картофель. Почва опытного поля дерново-подзолистая, легкосуглинистая. Использовался сорт картофеля Удача отечественной селекции. Физические параметры почвы определяли в *on-line* режиме с заданной дискретностью. Междурядья обрабатывали двумя способами: окучивание с боронованием пропашным культиватором КОН-2,8 + БРУ (контрольная посадка) и обработка на глубину 27 сантиметров культиватором КНО-2,8 + БРУ (опытная посадка). *(Результаты и обсуждение)* Комплексный агромониторинг климатических параметров окружающей среды и физических показателей состояния почвы, т.е. ее твердости и влажности, осуществлялся цифровыми средствами. Изучено влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля в течение трех лет. В трехлетней ретроспективе исследований максимальная урожайность 20,57 тонны на гектар была получена в 2022 году. Минимальный урожай 12,8 тонны в контроле и 14,19 тонны в опыте 2021 года был результатом экстремальных почвенно-климатических условий. *(Выводы)* При создании для нормального развития картофеля подходящих физических параметров состояния почвы путем ликвидации уплотнения в междурядьях прирост урожайности может достичь 27 процентов за счет разуплотнения почвы при глубокой обработке междурядий, лучшему увлажнению и сохранению в почве влаги.

Ключевые слова: обработка междурядий, картофель, органическое производство, растениеводство.

■ **Для цитирования:** Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля в системе органического земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 74-80. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-74-80. EDN: BJSENC.

Scientific article

Impact of Inter-Row Cultivation on Potato Tuber Yields in Organic Farming

Anton M. Zakharov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: bauermw@mail.ru;

Evgeniy A. Murzaev,
researcher,
e-mail: murzaev.e.a@mail.ru

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the surging interest in organic agriculture among both food producers and consumers in Russia. However, when transitioning from intensive agricultural production to organic technologies, certain problems arise. This applies to crop cultivation, especially potatoes, as the ban on traditional mineral fertilizers necessitates the search for rational and science-

based alternative methods. (*Research purpose*) The study aims to investigate the impact of deep inter-row potato cultivation on tuber yield without using fertilizers. (*Materials and methods*) To adapt crop cultivation practices in the North-West region to organic production requirements, a six-field crop rotation, including potatoes, was implemented at the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production. The experimental field soil is characterized as soddy-podzolic and light loamy. For the experiment, the domestic potato variety Udacha was used. Continuous monitoring was conducted for the soil's physical parameters. Inter-row cultivation was performed in two ways: hilling with harrowing using the row-crop cultivator KON-2.8 + BRU (control planting) and deep cultivation to 27 centimeter depth with the KNO-2.8 + BRU (test planting). (*Results and discussion*) Digital agromonitoring of environmental climatic parameters and soil physical characteristics, including hardness and moisture content, was conducted. The study examined the impact of inter-row-cultivation method on potato yields over three years. In three-year retrospective study, the highest yield of 20.57 tons per hectare was achieved in 2022, while adverse soil and climatic conditions in 2021 led to the lowest yields of 12.8 tons in the control planting and 14.19 tons in the experiment planting. (*Conclusions*) By creating favorable soil conditions for potato development through eliminating compaction in the rows, the increase in yield can reach 27 percent due to deep row cultivation, improved soil moisture, and moisture retention.

Keywords: inter-row cultivation, potatoes, organic production, crop production

■ **For citation:** Zakharov A.M., Murzaev E.A. Impact of inter-row cultivation on potato tuber yields in organic farming. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 74-80 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-74-80. EDN: BJSENC.

Трансформация растениеводства в направлении интенсивного производства коснулась всех ключевых этапов возделывания сельскохозяйственных культур. В качестве средств защиты и питания растений преимущественно используются химические препараты и удобрения, а для реализации технологических приемов – все более широкозахватная и энергонасыщенная техника. Закономерным результатом интенсивного развития АПК стало усиление нагрузки на агроэкосистемы, в том числе на почву.

С принятием Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года поставлена задача перейти к высокопродуктивному экологически чистому агро- и аквахозяйству, рациональному применению средств химической и биологической защиты растений и животных, хранению и эффективной переработке агропродукции, созданию безопасных и качественных продуктов питания, в том числе функциональных. Достижению этих целей и постепенному снижению экологической нагрузки способствует переход к органическим методам хозяйствования.

Рост органического производства стимулируется формированием в последние годы национальной законодательной базы в данной сфере, принятием закона «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (№ 280-ФЗ), ряда стандартов, других нормативно-правовых документов. С другой стороны, усиливается спрос населения на продукты здорового питания. Утвержденная Правительством РФ в марте 2023 года Стратегия развития органического производства в Российской Федерации до 2030 года подразумевает увеличение площадей под возделывание растениеводческой продукции к

2030 году до 3% ресурсов, задействованных в агро-секторе.

Важно отметить, что органическое растениеводство сопряжено с определенными высокими рисками. Так, из-за ограничений применения химических удобрений и средств защиты растений существует опасность распространения патогенной микрофлоры и заболеваний растений, в том числе карантинных. Переход к органическому хозяйству предполагает сохранение и улучшение не только полезных для здоровья людей свойств продовольственных продуктов, но также здоровья и плодородия почвы как компонента экологической системы.

В таких системах земледелия логичной альтернативой служат органические удобрения, но в силу логистических и экономических издержек они доступны далеко не всем фермерским хозяйствам. Для реализации потенциала систем органического земледелия и получения конкурентоспособной растениеводческой продукции нужны современные подходы [1, 2]. Технологии, применяемые в органическом производстве, основаны на достижениях биологических и агроинженерных наук и адаптированы к конкретным почвенно-климатическим условиям [3]. К важным аспектам относятся производственная и экономическая эффективность [4]. Внедряются технологии выращивания зерновых, ягодных и плодовых культур по критериям органического производства. Параллельно с этими инновациями разрабатываются и с учетом специфики органических требований совершенствуются технические средства [5].

На рынке сельскохозяйственной техники представлены новые современные модели машин: универсальный навесной культиватор-гребнеобразователь КГП-4; картофелепосадочная машина CR450M

с возможностью совмещения ряда технологических операций (подготовка почвы, посадка, гребнеобразование, опрыскивание, локальное внесение гранулированных удобрений [6, 7].

Тем не менее, остаются проблемы при возделывании органической овощной продукции, в частности картофеля (Шпаар Д., Быкин А., Дрегер Д. и др. Картофель. Возделывание, уборка, хранение. М.: ООО «ДЛВ Агродело», 2016. 458 с.). Эта культура очень требовательна к структуре почвы, питательным веществам [8, 9]. Для ее выращивания необходимы новые биологические средства роста и защиты от вредителей [10]. Большую роль играет применение современных агротехнических приемов. В частности, за счет правильно выбранных схем обработки почвы можно интенсифицировать природные процессы, способствующие нормальному развитию клубней и реализации генетического потенциала картофеля [11, 12].

Еще один важный аспект, которому производители продукции «органик» должны уделять внимание, касается комплекса требований к применяемому оборудованию, его безопасности для природной среды и рациональному использованию. Общие положения получения органического сырья и готовых продуктов изложены в действующем Межгосударственном стандарте ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации». Стандарт регламентирует, в том числе, правила управления экосистемой в части щадящей обработки почвенного слоя пахотных земель [13, 14]. Сбережение водных ресурсов и сохранение качества воды в условиях ее общемирового дефицита и проблем засухи в большинстве регионах тоже входит в задачи управления органическим производством [15].

Важным при выращивании картофеля является уход за посадками. Междурядная обработка предполагает создание рациональных физических параметров почвы. Структура почвы должна быть мелкокомковатая, без уплотнений от ходовой части машинно-тракторных агрегатов, максимально сохранять влагу, выпадающую с атмосферными осадками [16]. Такое состояние почвы достигается при глубоком рыхлении междурядий картофельных посадок. Влиянию этого технологического приема на урожайность картофеля посвящен ряд исследований [17, 18]. Однако большинство экспериментов проводили в условиях интенсивного хозяйствования с внесением большого количества минеральных удобрений. По этой причине невозможно однозначно оценить влияние рыхления междурядий на формирование урожайности.

При постановке задачи данного исследования основной акцент был на возможности повысить урожайность картофеля путем создания рациональ-

ных параметров почвенного состояния на этапе ухода за посадками.

Цель исследования. Изучить влияние способа обработки междурядий на урожайность картофеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проходили на базе опытных полей Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП). На этой площадке в 2016 году был заложен шестипольный севооборот с целью адаптации технологий возделывания растениеводческой продукции к требованиям органического производства. Предшественником картофеля являлись многолетние травы, выращиваемые на семена. Почва опытного поля дерново-подзолистая, легкосуглинистая. Использовался сорт картофеля Удача отечественной селекции. Опыт проводился без удобрений, чтобы максимально исключить этот фактор влияния на урожайность. Междурядья обрабатывали двумя способами: окучивание с боронованием пропашным культиватором КОН-2,8 + БРУ (контроль) и обработка на глубину 27 см культиватором КНО-2,8 + БРУ (опыт). Конструкция культиватора КНО-2,8 разработана в ИАЭП (рис. 1).



Рис. 1. Междурядная обработка картофеля культиватором КНО-2,8 + БРУ

Fig. 1. Inter-row potato cultivation with KNO-2.8 + BRU cultivator

Физические параметры почвенного состояния определяли с помощью цифровых средств измерений в on-line режиме с заданной дискретностью. Комплексный агромониторинг климатических параметров окружающей среды и физических показателей состояния почвы – твердости и влажности осуществлялся с помощью:

- метеостанции *Davis Vantage Pro2* (США);
- автономных станций измерения влажности и температуры почвы *Sentek COMPACT Drill & Drop TriSCAN* (90 см) (Австралия);
- пенетролога *Eijkel kamp* (Нидерланды), регистрировавшего твердость почвы на глубину до 80 см с шагом измерений 1 см, память прибора рассчитана на 500 измерений (рис. 2).



Рис. 2. Оборудование для агромониторинга (слева направо): метеостанция Davis Vantage Pro 2; Sentek COMPACT Drill & Drop TriSCAN; пенетрологгер Eijkelkamp

Fig. 2. Agromonitoring equipment (from left to right): Davis Vantage Pro 2 weather station; Sentek COMPACT Drill & Drop TriSCAN; Eijkelkamp penetrometer

Для сбора, обработки и архивирования данных разработано специальное программное обеспечение (рис. 3).

Результаты мониторинга климатических параметров окружающей среды после обработки представлены в таблице 1.

Климатические условия вегетации картофеля за исследуемый период сильно различались по средней температуре и количеству осадков. Лучшим оказался 2020 год: количество осадков в наиболее важные месяцы развития клубней оказало значительное влияние на показатели урожайности, особенно на опытных делянках, где применялась глубокая обработка междурядий. Самым засушливым стал 2021 год: средние температуры в месяцы вегетации отличались на 2-5°C, при этом количество осадков за июнь-июль принимало критические значения, что резко сказалось на урожайности. 2022 год как по распределению осадков, так и средней температуре был стабильнее предшествующего.



Рис. 3. Интерфейсы выбора экспериментального поля

Fig. 3. The interface for selecting the experimental field

При возделывании картофеля использовались технологические операции:

- отвальная зяблевая вспашка;
- предпосадочная обработка почвы культиватором для сплошной обработки почвы с зубowymi боронами;
- нарезка гребней с шириной междурядий 70 см;

Таблица 1		Table 1		
КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД КАРТОФЕЛЯ / CLIMATIC CONDITIONS DURING POTATO GROWTH				
Месяц	Показатель	Год		
		2020	2021	2022
Май	Температура окружающей среды, °C	10,00	11,59	9,93
	Количество осадков, мм	53,03	22,2	6,08
	Гидротермический коэффициент	0,59	0,72	0,34
Июнь	Температура окружающей среды, °C	19,20	21,34	17,38
	Количество осадков, мм	129,40	16,64	47,62
	Гидротермический коэффициент	2,25	0,26	0,91
Июль	Температура окружающей среды, °C	17,60	22,61	18,61
	Количество осадков, мм	186,20	16,8	85,20
	Гидротермический коэффициент	3,41	0,25	1,47
Август	Температура окружающей среды, °C	17,21	15,92	20,01
	Количество осадков, мм	195,92	109,25	99,30
	Гидротермический коэффициент	3,80	2,36	1,66

- посадка картофеля;
- окучивание междурядий с боронованием (контроль);
- глубокая обработка междурядий с боронованием (опыт);
- обработка картофеля биологическими средствами защиты растений;
- скашивание ботвы и уборка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Показателем, отражающим результат глубокого рыхления на уплотнение почвы, принято сопротивление пенетрации почвы. В таблице 2, как пример, представлены результаты измерений пенетрации почвы в 2020 году непосредственно в гребнях.

Установлено, что глубокая обработка междурядий способствует разуплотнению почвы в междурядьях и непосредственно под гребнями. Данный эффект достигается за счет распределения поперечных внутрипочвенных трещин, образующихся от воздействия почвообрабатывающих орудий. В результате улучшается аэрационная способность почвы, интенсифицируются инфильтрационные процессы, что создает благоприятные условия для развития корневой системы растений картофеля.

Зависимость влажности почвы от способа междурядной обработки представлена, как пример, за 2022 год на рисунке 4.

Динамика влажности почвы в зоне клубнеобразования показывает, что при глубокой обработке междурядий улучшается инфильтрационная способность почвы, аккумулирующей больше влаги, выпадающей с осадками. Наибольший эффект наблюдается при большом количестве осадков с их высокой интенсивностью. Например, в начале августа 2022 года выпало 46,2 мм осадков и влаж-

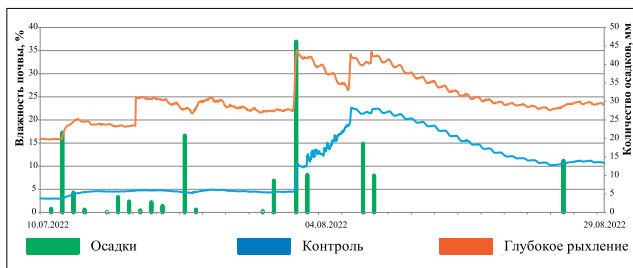


Рис. 4. Динамика влажности почвы в зоне клубнеобразования в зависимости от способа обработки междурядий

Fig. 4. Soil moisture dynamics in the tuber formation zone

ность почвы в опытной посадке картофеля увеличилась до 35%, а в контроле не превышала 10%.

Средние показатели урожайности опытных посадок картофеля (с глубоким рыхлением) в 2020, 2021 и 2022 гг. составили 19,5, 14,19 и 20,57 т/га и превысили контрольные соответственно на 5,3, 1,39 и 1,31 т/га.

Таким образом, независимо от климатических условий в разные годы эксперимента глубокое рыхление междурядий положительно сказалось на приросте урожайности при возделывании картофеля по органической технологии. В 2020 году с максимальным количеством осадков порядка 565 мм за вегетационный период глубокая обработка междурядий способствовала максимальному приросту урожайности на 27%. В 2021 году даже при сильной засухе в период клубнеобразования за счет применения глубокой обработки удалось повысить урожайность на 9,8%. Наименьший эффект от изучаемого технологического приема наблюдался в 2022 году, т.е. в отсутствие экстремальных почвенно-климатических условий прирост урожайности составил 6,3%.

Таблица 2

ДИНАМИКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕНЕТРАЦИИ ПОЧВЫ ПО СЛОЯМ В 2020 ГОДУ, МПа
DYNAMICS OF SOIL PENETRATION RESISTANCE BY LAYERS IN 2020, MPa

Table 2

Дата	Сопротивление пенетрации почвы, МПа							
	Слой почвы, см							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
Контрольная посадка								
15.06.2020	0,18	0,33	1,17	2,41	3,62	3,42	2,62	2,5
23.06.2020	0,21	0,31	1,06	2,19	3,33	3,25	2,82	2,62
06.07.2020	0,39	0,76	1,98	3,12	3,9	4,81	3,89	3,1
21.07.2020	0,17	0,85	2,36	3,58	3,81	4,58	4,63	3,64
01.09.2020	0,28	0,36	1,14	2,26	3,5	3,97	3,87	3,61
Опытная посадка (глубокое рыхление междурядий)								
15.06.2020	0,18	0,27	0,66	1,38	2,66	2,96	2,34	2,24
23.06.2020	0,3	0,65	1,37	2,04	2,69	3	2,42	2,45
06.07.2020	0,31	0,47	1,53	2,86	4,23	4	3,2	3,17
21.07.2020	0,24	0,36	1,32	4,12	5,03	4,63	3,76	3,38
01.09.2020	0,33	0,4	0,79	2,18	3,82	3,77	3,27	3,48

Выводы. В ходе полевого эксперимента решалась локальная проблема технологии возделывания картофеля, а именно устранение почвенного уплотнения в междурядьях после прохода техники. Глубокая обработка междурядий способствовала увеличению инфильтрационной способности почвы, разуплотнению почвенных слоев в междурядьях и непосредственно под гребнями картофеля за счет распространения внутрпочвенных трещин, что благоприятно повлияло на рост и развитие клубней картофеля нового урожая.

В почвенно-климатических условиях юга Санкт-Петербурга при благоприятных погодных условиях возможно получить урожайность картофеля на уровне 20 т/га без использования удобрений. Безусловно, это довольно низкий показатель в сравнении с возделыванием картофеля по интенсивным технологиям. Для достижения сопоставимого результата необходимы более обширные полевые исследования по поиску способов адаптации выращивания картофеля к специфике органического производства в конкретных почвенно-климатических условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П. и др. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N2(31). С. 41-52. EDN: JNIMAH.
2. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S., Kah J. Human health implications of organic food and organic agriculture: A comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 111. DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
3. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169. DOI: 10.1017/S1742170510000116.
4. Van Stappen F., Lories A., Mathot M., et al. Organic versus conventional farming: the case of wheat production in Wallonia (Belgium). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. Vol. 7. 272-279. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.12.047.
5. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8. (278). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С.191-197. EDN: ZAWQJF.
7. Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N2. С. 45-48. EDN: TTLVUJ.
8. Колчин Н.Н., Пономарев А.Г., Зернов В.Н. Новая техника для картофелеводства // *Картофель и овощи*. 2019. N6. С. 26-29. DOI: 10.25630/PAV.2019.77.31.006. EDN: WRHNAE.
9. Novikova I., Minin V., Titova J., et al. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem. *Plants*. 2022. 11(7). 962. DOI: 10.3390/plants11070962. EDN: JPSKOO.
10. Novikova I.I., Minin V.B., Titova J.A., et al. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases. *Agronomy*. 2021. 19(3). 1617-1626. DOI: 10.15159/AR.21.135. EDN: HUJIPS.
11. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Первушина Н.К. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // *Аграрный вестник Урала*. 2021. N4 (207). С. 34-42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С.63-68. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/63-68>.
13. Калинин А.Б., Устроенов А.А., Теплинский И.З., Мурзаев Е.А. Исследование приемов разуплотнения почвы в технологии возделывания картофеля // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. N2(99). С. 101-109. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10154.
14. Руденко Н.Е., Носов И.А., Кайванов С.Д., Петухов Д.А. Ресурсосберегающий пропашной культиватор // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 31-36. DOI: 10.22314/207375992017.4.3136. EDN: ZEHDP.
15. Obidiegwu J.E., Bryan G.J., Jones H.G., Prashar A. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. 00542. DOI: 10.3389/fpls.2015.00542.
16. Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Зависимость физических параметров почвенного состояния от способа междурядной обработки посадок органического картофеля // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. 1(65). С. 408-418. DOI:10.32786/2071-9485-2022-01-40. EDN: TKLLIQ.
17. Лапшинов Н.А. Урожайность картофеля в зависимости от влагообеспеченности // *Достижения науки и техники в АПК*. 2009. N3. С. 26-28. EDN: KKOFP.
18. Kalinin A., Teplinsky I., Ustroeov A. Substantiation of tillage methods aimed at rational usage of water resources. *Engineering for Rural Development: Proceedings*. Jelgava. 2018. Vol. 17. 392-399. DOI: 10.22616/ERDev2018.17. N517.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P. et al. Digital agriculture (review of agricultural digital technologies). *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian). EDN: JNIMAH.
2. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S., Kah J. Human health implications of organic food and organic agriculture: A comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 111 (In English). DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
3. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169 (In English). DOI: 10.1017/S1742170510000116.
4. Van Stappen F., Lories A., Mathot M., et al. Organic versus conventional farming: the case of wheat production in Wallonia (Belgium). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. Vol. 7. 272-279 (In English). DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.12.047.
5. Akhalaya B.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov Yu.Kh., Adamiya L.S. Combined unit with a universal working body for surface tillage. *Machinery and equipment for rural area*. 2020. N8(278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
6. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Digital technologies in pochvoobrabotke. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian). EDN: ZAWQJF.
7. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. Modern technologies and special equipment for potato production. *Agricultural machinery and technologies*. 2015. N2. 45-48. (In Russian). EDN: TTLVUJ.
8. Kolchin N.N., Ponomarev A.G., Zernov V.N. New machinery for potato growing. *Potato and vegetables*. 2019. N6. 26-29 (In Russian). DOI: 10.25630/PAV.2019.77.31.006. EDN: WRHHAЕ.
9. Novikova I., Minin V., Titova J. et al. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem. *Plants*. 2022. 11(7). 962 (In English). DOI: 10.3390/plants11070962. EDN: JPSKOO.
10. Novikova I.I., Minin V.B., Titova J.A. et al. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases. *Agronomy Research*. 2021. 19(3). 1617-1626 (In English). DOI: 10.15159/AR.21.135. EDN: HUJIPS.
11. Petrova L.I., Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Influence of various factors on crop formation and potato quality. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. N4(207). 34-42 (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
12. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/63-68>.
13. Kalinin A.B., Ustroeв A.A., Teplinskiy I.Z., Murzaev E.A. Study of soil de-compaction methods in potato cultivation technologies. *AgroEcoEngineering*. 2019. N2(99). 101-109 (In Russian). DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10154.
14. Rudenko N.E., Nosov I.A., Kayvanov S.D., Petukhov D.A. Resource-saving inter-row cultivator. *Agricultural machinery and technologies*. 2017. N4. 31-36 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.4.3136. EDN: ZEHDZP.
15. Obidiegwu J.E., Bryan G.J., Jones H.G., Prashar A. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. 00542 (In English). DOI: 10.3389/fpls.2015.00542.
16. Zakharov A.M., Murzaev E.A. The dependence of the physical parameters of the soil condition on the method of inter-row cultivation of plantings of organic potatoes. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022. 1(65). 408-418 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-40. EDN: TKLLIQ.
17. Lapshinov N.A. Productivity of the potato depending on ground vlagooobespechennosti. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK*. 2009. N3. 26-28 (In Russian). EDN: KKOFPF.
18. Kalinin A., Teplinsky I., Ustroeв A. Substantiation of tillage methods aimed at rational usage of water resources. *Engineering for Rural Development: Proceedings*. Jelgava. 2018. Vol. 17. 392-399 (In English). DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N517.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Захаров А.М. – научное руководство исследованием, постановка цели исследования, анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме, представленной в публикации, формулировка выводов; Мурзаев Е.А. – постановка и проведение полевых экспериментальных исследований, работа со статистическими данными, проведение вычислений, анализ результатов. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zakharov A.M. – scientific supervision, formulating research goals, literature review (domestic and foreign), formulating conclusions; Murzaev E.A. – field experiment design and implementation, handling statistical data, calculations, result analysis. 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

10.11.2023

EDN: RNSRZO

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-81-88



Научная статья

УДК 631.356.46



Оптимизация финишной обработки трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна

Александра Васильевна Неменко,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: valesan@list.ru;

Михаил Михайлович Никитин,
старший преподаватель,
e-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

Реферат. Специфика картофелеуборочного комбайна включает разнесенный в пространстве привод его агрегатов от внешнего двигателя в условиях стохастического характера работы. Это усложняет нагруженность его элементов, в том числе трансмиссионных валов, и создает предпосылки для снижения их долговечности, увеличивая количество установленных отказов. Противодействие указанному процессу оказывает обработка трансмиссионных валов, направленная на уменьшение концентрированных дефектов. (*Цель исследования*) Разработка целевой функции для управления процессом финишной обработки трансмиссионных валов картофелеуборочного комбайна по критерию максимизации выхода годных при контроле концентрированных дефектов. (*Материалы и методы*) Для реализации метода требуется оборудование с возможностью программного управления по каналу технического зрения. В схеме управления используются математический аппарат описания дискретных и непрерывных случайных величин, марковские процессы с дискретным временем и непрерывным пространством состояний, метод наибольшего правдоподобия, а также методы численной оптимизации в многофакторном пространстве. (*Результаты и обсуждение*) Получены формулы для расчета вероятностей успешного и неудачного исходов финишной обработки по критерию наличия концентрированных дефектов. Представлены результаты апробации предложенного алгоритма для прогнозных оценок выхода годных изделий предлагаемым методом на основании промежуточных замеров характеристик дефекта в процессе обработки. Предложена схема использования полученных результатов в производственном процессе изготовления трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна. (*Выводы*) Предложен алгоритм управления финишной обработкой трансмиссионного вала на основании прогнозной оценки вероятности изготовления изделия, удовлетворяющего техническим условиям совместно по геометрии и чистоте поверхности. В качестве целевой функции рассмотрена прогнозная вероятность получения поверхности с заданной чистотой при отсутствии дефектов, превышающих допустимое значение. Решение задачи достигается подбором соответствующих технологических параметров.

Ключевые слова: картофелеуборочный комбайн, трансмиссия, финишная обработка, чистота поверхности, концентрированные дефекты.

■ **Для цитирования:** Неменко А.В., Никитин М.М. Оптимизация финишной обработки трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 81-88. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-81-88. EDN: RNSRZO.

Scientific article

Optimizing the Finishing Treatment of Potato Harvester Transmission Shafts

Alexandra V. Nemenko,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: valesan@list.ru;

Mikhail M. Nikitin,
senior lecturer,
e-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract. The potato harvester's distinctive specifications include the spatially segregated drive of its units from an external engine, operating under stochastic conditions. This setup complicates the loading of its components, including transmission shafts, and creates the prerequisites for decreased durability, leading to an upsurge in fatigue failures. To counteract this process, transmission shafts undergo a special treatment aimed at mitigating concentrated defects. (*Research purpose*) The purpose of this research is to formulate an objective function for controlling the finishing treatment of transmission shafts in a potato harvester. This function is designed to maximize potato yield while monitoring concentrated defects. (*Materials and methods*) The implementation of

the method requires equipment capable of being controlled through a technical vision channel. The control scheme employs mathematical tools for describing discrete and continuous random variables, Markov processes with discrete time and continuous state space, the maximum likelihood method, and methods of numerical optimization in multifactor space. (*Results and discussion*) The research has yielded formulas for calculating the probabilities of successful and unsuccessful outcomes of finishing treatment based on the criterion of concentrated defect presence. The paper provides the results of testing the proposed algorithm for predicting the yield of viable products using the proposed method based on interim measurements of defect characteristics during the treatment process. Additionally, a scheme is proposed for integrating the obtained results into the production process of manufacturing transmission shafts for potato harvesters. (*Conclusions*) An algorithm has been proposed to control the finishing treatment of the transmission shaft based on a predictive assessment of the probability of manufacturing a product that adheres to the specified technical criteria regarding geometry and surface cleanliness. The predictive probability of achieving a surface with the required cleanliness without exceeding permissible defect limits is considered as the objective function. The solution to the problem is achieved through the selection of appropriate technological parameters.

Keywords: potato harvester, transmission, finishing, surface cleanliness, concentrated defects.

■ **For citation:** Nemenko A.V., Nikitin M.M. Optimizing the finishing treatment of potato harvester transmission shafts. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 81-88 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-81-88. EDN: RNSRZO.

Привод агрегатов картофелеуборочного комбайна, как правило, осуществляется от внешней силовой установки трактора с помощью системы передач, включающей трансмиссионные валы [1]. В перспективной схеме картофелеуборочного комбайна движение в механизмах просева и сепарации клубней также передается через трансмиссионные валы [2].

Отмечено, что при обработке комбайном 1 га в бункер вместе с картофелем может поступать до 1000 т почвенных примесей [3]. Это создает предпосылки для постоянного контакта открытых элементов трансмиссии с образующейся пылью, которая в случае тяжелых грунтов обладает абразивными свойствами [4]. Появление сети царапин на поверхности валов создает эффект концентрации напряжений, снижая ресурс изделия, работающего в условиях переменных динамических нагрузок [5]. Выход из строя трансмиссионного вала, как правило, приводит к отказу комбайна. Статистика по отечественным и зарубежным картофелеуборочным комбайнам показывает значительную (до 60%) долю усталостных отказов [6]. Это объясняется разветвленной кинематической схемой оборудования.

Диагностика постепенно развивающегося отказа может быть выполнена сравнением моментов сопротивления, возникающих при прокрутке всего механизма комбайна под нагрузкой и на холостом ходу [7]. Кроме того, постепенный отказ вызывает деформации оборудования и повышенные нагрузки на гидросистему, что является источником протечки масла и увеличивает его расход [8].

Общей тенденцией повышения ресурса циклически нагружаемых изделий, в полной мере применимой и к трансмиссионным валам, является повышение сопротивления усталости на этапе изготовления [9]. Отметим, что при этом также может быть

повышена долговечность элементов экстерьера, не участвующих в процессе уборки, вследствие снижения уровня вибраций, передающихся на них [10].

Обработка поверхности вала до высоких классов чистоты при отсутствии концентрированных дефектов увеличивает предел выносливости вала в условиях циклических нагрузок [11]. Финишную обработку, как правило, проводят тонким шлифованием или полированием [12]. Гранулометрический состав большинства применяемых абразивов содержит фракции разной степени крупности [13]. В результате процессы финишной обработки не могут рассматриваться как полностью детерминированные [14], поскольку существует вероятность получения медленно устранимых на данной стадии концентрированных дефектов (точечных – ямок или линейных – царапин) вследствие случайного заноса на поверхность изделия более крупных частиц, присутствующих в абразивных материалах.

В зависимости от требований к чистоте поверхности при определенном количестве таких дефектов приходится прекращать обработку более тонким абразивом и возвращаться к прежним стадиям с потерей времени и абразивного материала [15]. Кроме того, при строгих требованиях к геометрическим размерам детали существует риск испортить заготовку, выбрав припуск на обработку и не устранив концентрированные дефекты [16].

Методы контроля поверхностей по средней и максимальной шероховатости не учитывают концентрированные дефекты, которые, как правило, лежат в пределах нескольких предыдущих классов чистоты и могут быть обнаружены визуально или с помощью системы технического зрения. Для количественного описания концентрированных дефектов используются величины, обладающие свойствами математической меры.

Цель исследования: оптимизация процесса финишной обработки трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна по критерию максимизации успешного завершения единичного процесса при совместных допусках на геометрию и чистоту поверхности вала.

Материалы и методы. Для реализации метода требуется оборудование для финишной обработки валов с возможностью программного управления по каналу технического зрения. В схеме управления применяются: полученные авторами формулы; математический аппарат описания дискретных и непрерывных случайных величин; марковские процессы с дискретным временем и непрерывным пространством состояний; метод наибольшего правдоподобия; методы численной оптимизации в многофакторном пространстве. Используется вероятностная интерпретация процесса финишной обработки, при которой располагаемый временной интервал разделен на равные диапазоны, в которых измеряются максимальное, минимальное, начальное и конечное значения выбранного показателя концентрированных дефектов. Измеренные значения трактуются как случайные величины, и на их основании производится прогноз и управление.

Результаты и обсуждение. Считаем, что по шероховатости поверхность трансмиссионного вала удовлетворяет критериям соответствия классу, до которого в данный момент она обрабатывается, но на поверхности присутствуют концентрированные дефекты. Обработка будет проводиться, пока мера дефектов не станет либо меньше предустановленного значения, либо больше второго предустановленного значения. В первом случае деталь обрабатывается до следующего класса чистоты более тонким абразивом, а во втором заготовка считается испорченной. Требуется сформировать управляющее воздействие на процесс обработки, максимизирующее первый из этих исходов.

Считаем, что существуют параметры технологического процесса $p_1, p_2, \dots, p_k$, влияющие на чистоту поверхности, которые предполагается варьировать в ходе обработки. Технологический процесс условно делится на интервалы равной продолжительности, по завершении каждого интервала возможно управляющее воздействие варьированием вектора параметров. В качестве параметров рассматриваются частота вращения инструмента, технологическое усилие, интенсивность подачи абразива и смазочно-охлаждающей жидкости и ряд других.

Составляется целевая функция процесса, максимизирующая вероятность его успешного завершения. На каждом шаге проверяется оптимальность поддерживаемого режима обработки и в случае отклонений вносится корректирующее воздействие по вектору параметров.

Построение целевой функции эффективности процесса обработки

Рассмотрим дефекты с непрерывной мерой, в частности, суммарную длину всех царапин на изделии. Считаем, что в начальный момент обработки разность между верхним предельным и текущим значениями меры дефектов составляет x (мм), а между текущим и нижним предельным значениями y (мм).

По завершении каждого из интервалов обработки полагаем известными значения начальной меры дефектов q_{ni} , наибольшей q_{max} и наименьшей на интервале q_{min} .

Рассмотрим при фиксированном векторе параметров $p_1, p_2, \dots, p_k$ вероятности неудачного и успешного исходов обработки P_x и P_y для случая непрерывной меры дефектов. Показатели вероятности выражаются безразмерными величинами.

Введем разности $\alpha = q_{max} - q_{ni}$; $\beta = q_{ni} - q_{min}$; $\lambda = q_{ni+1} - q_{ni}$ как независимые случайные величины, причем их функции распределения $F(t)$, $G(t)$ и $V(t)$ не зависят от номера интервала i . Кроме того, считаем, что для этих величин существуют конечные условные плотности вероятностей $f(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$, $g(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $v(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$, полученные в предположении, что вектор параметров технологического процесса неизменен.

Далее, используя математический аппарат [17] применительно к поставленной задаче, получим следующие формулы:

$$P_x(p_1, p_2, \dots, p_k) = P_{0x}(p_1, p_2, \dots, p_k) + \frac{P_{1x}(p_1, p_2, \dots, p_k)}{1 - \int_{-y}^x v(a|p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot r_0(x-a, y+a) da}, \quad (1)$$

$$P_y(p_1, p_2, \dots, p_k) = P_{0y}(p_1, p_2, \dots, p_k) + \frac{P_{1y}(p_1, p_2, \dots, p_k)}{1 - \int_{-y}^x v(a|p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot r_0(x-a, y+a) da}, \quad (2)$$

где $P_{0x}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $P_{0y}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – вероятности неудачного и удачного исхода обработки на первом интервале (если непрерывная мера дефектов превысила верхнее контрольное значение, исход считается неудачным, если меньше нижнего контрольного значения, исход удачный); a – переменная интегрирования (уходит при взятии интеграла), мм; $P_{1x}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $P_{1y}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – вероятности неудачного и успешного исхода обработки на втором интервале; $r_0(x-a, y+a)$ – вероятность незавершенности процесса на первом интервале при условии, что верхнее контрольное значение меры дефектов больше начального на величину $(x-a)$ мм, а нижнее контрольное значение меньше начального на $(y+a)$ мм; $v(a|p_1, p_2, \dots, p_k)$ – ус-

ловная плотность вероятности случайной величины γ в точке ($t=a$) в предположении, что вектор параметров равен $(p_1, p_2, \dots, p_k)$.

Входящие в формулы (1) и (2) вероятности исходов обработки на первом интервале $P_{0x}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $P_{0y}(p_1, p_2, \dots, p_k)$ соответственно:

$$P_{0y} = \int_0^x f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_y^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt + \frac{\left(\int_y^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt \right)^2 \cdot \int_x^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt}{\int_x^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_y^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}, \quad (3)$$

$$P_{0x} = \int_x^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_0^y g(t | p_1, \dots, p_k) dt + \frac{\left(\int_x^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt \right)^2 \cdot \int_y^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}{\int_x^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_y^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}, \quad (4)$$

$$r_0(a) = \int_0^{x-a} f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_0^{y+a} g(t | p_1, \dots, p_k) dt. \quad (5)$$

Вероятности исходов обработки на втором интервале определяются соотношениями:

$$P_{1x}(p_1, p_2, \dots, p_k) = r_1 \cdot \left(\int_x^\infty v(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_{-y}^x v(a | p_1, \dots, p_k) \cdot P_{0x}(a) da \right), \quad (6)$$

$$P_{1y}(p_1, p_2, \dots, p_k) = r_1 \cdot \left(\int_{-\infty}^{-y} v(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_{-y}^x v(a | p_1, \dots, p_k) \cdot P_{0y}(a) da \right), \quad (7)$$

где $P_{0x}(a)$ – вероятность неудачного исхода обработки на первом интервале в предположении, что верхнее контрольное значение меры дефектов больше начального значения на $(x-a)$, мм, а нижнее меньше начального на $(y+a)$ мм; $P_{0y}(a)$ – вероятность неудачного исхода обработки на первом интервале при том же предположении; r_1 – вероятность переноса обработки на следующие интервалы.

Эти вероятности можно найти по формулам:

$$P_{0x}(a) = \int_{x-a}^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_0^{y+a} g(t | p_1, \dots, p_k) dt + \frac{\left(\int_{x-a}^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt \right)^2 \cdot \int_{y+a}^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}{\int_{x-a}^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_{y+a}^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}, \quad (8)$$

$$P_{0y}(a) = \int_0^{x-a} f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_{y+a}^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt + \frac{\left(\int_{y+a}^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt \right)^2 \cdot \int_{x-a}^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt}{\int_{x-a}^\infty f(t | p_1, \dots, p_k) dt + \int_{y+a}^\infty g(t | p_1, \dots, p_k) dt}, \quad (9)$$

$$r_1 = \int_0^x f(t | p_1, \dots, p_k) dt \int_0^y g(t | p_1, \dots, p_k) dt. \quad (10)$$

Рассмотрим формулы (1)-(10) для случая дефектов с дискретной мерой, таких как выбоины, неровности и подобные неоднородности обработки. Конечные выборки рассмотренных разностей $\alpha = q_{\max i} - q_{\min i}$, $\beta = q_{\min i} - q_{\min i}$, $\lambda = q_{\min i+1} - q_{\min i}$ получены обработкой предшествующего вектора значений $q(t)$. Заменив их условные плотности вероятностей $f(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$, $g(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $v(t|p_1, p_2, \dots, p_k)$ для непрерывного случая дискретными условными вероятностями $f_i(p_1, p_2, \dots, p_k)$, $g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)$ и $v_i(p_1, p_2, \dots, p_k)$ принятия соответствующей разностью фиксированного значения i в предположении, что вектор параметров технологического процесса принял значение $(p_1, p_2, \dots, p_k)$, а также считая дискретными расстояния от начального значения меры дефектов до ее предельных уровней x и y , представим формулы (1) и (2) в дискретном виде:

$$P_x(p_1, p_2, \dots, p_k) = P_{0x}(p_1, p_2, \dots, p_k) + \frac{P_{1x}(p_1, p_2, \dots, p_k)}{1 - \sum_{j=-y}^x v_j(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot r_0(j)}, \quad (11)$$

$$P_y(p_1, p_2, \dots, p_k) = P_{0y}(p_1, p_2, \dots, p_k) + \frac{P_{1y}(p_1, p_2, \dots, p_k)}{1 - \sum_{j=-y}^x v_j(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot r_0(j)}, \quad (12)$$

где j – дискретный индекс суммирования, используемый вместо непрерывной переменной интегрирования a в формулах (1)-(10); $r_0(j)$ – вероятность не завершения процесса на первом интервале при условии, что верхнее контрольное значение больше начального значения меры дефектов на $(x-j)$ мм, а нижнее контрольное значение меньше начального на $(y+j)$ мм.

Вероятности исходов обработки на первом интервале в формулах (11), (12) и для дефектов с непрерывной мерой, задававшиеся формулами (3)-(5), принимают вид:

$$P_{0x}(p_1, p_2, \dots, p_k) = \sum_{i=x}^\infty f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^y g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \frac{\left(\sum_{i=x}^\infty f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \right)^2 \cdot \sum_{i=y}^\infty g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}{\sum_{i=x}^\infty f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{i=y}^\infty g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}, \quad (13)$$

$$P_{0y}(p_1, p_2, \dots, p_k) = \sum_{i=y}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^x f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) +$$

$$\frac{\left(\sum_{i=y}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \right)^2 \cdot \sum_{i=x}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}{\sum_{i=x}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{i=y}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}, \quad (14)$$

$$r_0(j) = \sum_{i=0}^{x-j} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^{y+j} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k). \quad (15)$$

Вероятности исходов обработки на втором интервале преобразуем к виду:

$$P_{1x}(p_1, p_2, \dots, p_k) = r_1 \cdot \left(\sum_{i=x}^{\infty} v_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{j=-y}^x v_j(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot P_{0x}(j) \right), \quad (16)$$

$$P_{1y}(p_1, p_2, \dots, p_k) = r_1 \cdot \left(\sum_{i=-\infty}^{-y} v_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{j=-y}^x v_j(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot P_{0y}(j) \right), \quad (17)$$

где $P_{0x}(t)$ – вероятность неудачного исхода обработки на первом интервале в предположении, что верхнее контрольное значение больше начального значения меры дефектов на $(x-j)$ единиц, а нижнее контрольное значение меры дефектов меньше начального значения на $(y+j)$ единиц; $P_{0y}(t)$ – вероятность неудачного исхода обработки на первом интервале при том же предположении; r_1 – вероятность переноса обработки на следующие интервалы.

Эти величины определим для дефектов с дискретной мерой по аналогии с формулами (8)-(10):

$$P_{0x}(j) = \sum_{i=x-j}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^{y+j} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) +$$

$$\frac{\left(\sum_{i=x-j}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \right)^2 \cdot \sum_{i=y+j}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}{\sum_{i=x-j}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{i=y+j}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}, \quad (18)$$

$$P_{0y}(j) = \sum_{i=y}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^x f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) +$$

$$\frac{\left(\sum_{i=y+j}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \right)^2 \cdot \sum_{i=x-j}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}{\sum_{i=x-j}^{\infty} f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) + \sum_{i=y+j}^{\infty} g_i(p_1, p_2, \dots, p_k)}, \quad (19)$$

$$r_1 = \sum_{i=0}^x f_i(p_1, p_2, \dots, p_k) \cdot \sum_{i=0}^y g_i(p_1, p_2, \dots, p_k). \quad (20)$$

Учитывая эти соотношения, представим формулы (11) и (12) как полные аналоги формул (1) и (2) для вероятностей исходов обработки в случае дефектов с дискретной мерой.

Оптимизация алгоритма управления технологическим процессом с помощью целевой функции

Полагаем, что все связи существенно индетерминированы. В качестве аппарата математического описания влияния параметров технологического процесса на меру дефектов применим условные плотности распределения тех же разностей в предположении, что набор параметров равен заданному вектору значений.

Используя последовательности измеренных разностей меры дефектов на начальных стадиях процесса обработки, зададимся классами плотностей вероятности, параметры которых будем искать. В частности, для разностей α и β , которые по своей природе могут быть только положительными, примем усеченное распределение Коши с плотностями соответственно

$$f(t) = \frac{2 \cdot a_f}{\left(\pi + 2 \cdot \arctg \frac{b_f}{a_f} \right) \cdot (a_f^2 + (t - b_f)^2)}, \quad (21)$$

$$g(t) = \frac{2 \cdot a_g}{\left(\pi + 2 \cdot \arctg \frac{b_g}{a_g} \right) \cdot (a_g^2 + (t - b_g)^2)}, \quad (22)$$

где a_f, b_f, a_g, b_g – параметры, подлежащие определению, безразмерные величины; t – заранее заданное значение, имеющее размерность используемой меры дефектов.

Согласно принципу наибольшего правдоподобия [18], для заданных выборок α_i и β_i , состоящих из n элементов, параметры a и b с соответствующим индексом должны максимизировать произведение n функций, полученных из формул (21) и (22) заменой в каждой из них значения t значением конкретной реализации соответствующей случайной величины, взятой из выборки. Это произведение даст функцию правдоподобия:

- для формулы (21)

$$L_{\alpha} = \frac{a_f^n}{\left(\pi + 2 \cdot \arctg \frac{b_f}{a_f} \right)^n \cdot \prod_{i=1}^n (a_f^2 + (\alpha_i - b_f)^2)}, \quad (23)$$

в которой будем искать параметры a_f и b_f ;

- для формулы (22):

$$L_{\beta} = \frac{a_g^n}{\left(\pi + 2 \cdot \arctg \frac{b_g}{a_g} \right)^n \cdot \prod_{i=1}^n (a_g^2 + (\beta_i - b_g)^2)}, \quad (24)$$

определению подлежат параметры a_g и b_g .

Для разности γ , принимающей произвольные значения, примем непосредственное распределение Коши с плотностью:

$$v(t) = \frac{a_v}{\pi \cdot (a_v^2 + (t - b_v)^2)}. \quad (25)$$

Аналогично составим функцию правдоподобия

$$L_{\gamma} = \frac{a_v^n}{\prod_{i=1}^n (a_v^2 + (\beta_i - b_v)^2)}, \quad (26)$$

которую должны максимизировать величины a_v и b_v .

По выборкам составим гистограммы соответствующих им случайных величин α , β , γ с единичным шагом. Получим непараметрические оценки вероятностей появления каждой величины в виде дискретных законов распределения f_i , g_i , v_i задающих вероятность нахождения каждой из величин в интервале i . Используя полученные законы в формулах (11)–(20) к границам x и y из каждой задачи, получим дискретную целевую функцию обработки для фиксированного набора параметров.

Для контроля обрабатываемого изделия по дефектам с непрерывной мерой максимизируем формулы (23), (24) и (26), в которых использовались данные из последовательности тестового набора с помощью метода движения по градиенту [19]. Получаем значения параметров распределений (21), (22) и (25).

Используя эти распределения в формулах (1)–(10), получим вероятность успешного завершения процесса обработки. При этом время расчета на типовом оборудовании с производительностью 109 операций с плавающей запятой в секунду составляет несколько секунд, что существенно меньше, чем при решении сходных задач с помощью нейросети [20].

Непосредственно задача управления решается перебором параметров в их областях определения с целью максимизации вероятности изготовления вала с дефектами в пределах допусков.

Максимизирующие значения применяются на следующем шаге, по завершении которого также проводятся контроль дефектов и управление технологическим процессом [21]. Для набора статистических данных по дефектам представляется перспективным проводить замеры по окончании каждой операции автоматически, в частности, используя систему технического зрения [21].

Выводы. Рассмотрена оптимизация управления финишной обработкой трансмиссионного вала картофелеуборочного комбайна. Предложен алгоритм управления обработкой вала на основании прогнозной оценки вероятности изготовления изделия, удовлетворяющего техническим условиям совместно по геометрии и чистоте получаемой поверхности.

В качестве целевой функции, которая должна максимизироваться путем подбора технологических параметров, рассмотрена прогнозная вероятность получения поверхности с заданной общей чистотой при условии, что мера отдельных концентрированных дефектов оказывается меньше нижнего допустимого значения. При неудачном исходе мера отдельных дефектов превосходит верхнее допустимое значение.

Процесс обработки рассматривается как марковское случайное блуждание меры дефектов между поглощающими уровнями, образованными допустимыми значениями. На этом основании в качестве непосредственной реализации целевой функции предлагаются формулы (2) и (12) для дефектов с непрерывной и дискретной мерой соответственно. Для набора статистических данных по дефектам целесообразно проводить замеры по окончании каждой обрабатываемой операции автоматически, в частности, используя систему технического зрения.

Задача формирования управляющего воздействия решается путем перебора на конечном множестве векторов параметров технологического процесса, соответствующих условным плотностям вероятности, которые используются в выражениях (2) и (12). В качестве параметров рассматриваются частота вращения инструмента, технологическое усилие, интенсивность подачи абразива и смазочно-охлаждающей жидкости и ряд других.

Для составления условных плотностей вероятности требуется большой объем статистических данных, тем не менее, в условиях производства со временем происходит смена режимов обработки, и такие данные неявно могут присутствовать.

Формулы (1) и (2), (11) и (12) являются аналогами выхода годных для единичного процесса и, при допущении гипотезы об эргодичности операций процесса финишной обработки (одни и те же закономерности проявляются и за короткое время на большой серии деталей, и длительно на малой серии), а также при достаточно большом количестве стадий обработки одного вала, образуют тот же объект управления, что и классическая формула.

При этом операции остаются те же, но на выходе мы получаем возможность управлять изготовлением единичного объекта и на этом принципе поднимать общую эффективность финишной обработки трансмиссионных валов картофелеуборочного комбайна при их изготовлении и в эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин А.А., Пономарёв А.Г. Конструктивные схемы картофелеуборочных комбайнов в аграрном секторе России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №6. С. 22–25. EDN: RVTBIX.
2. Успенский И.А., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Безносюк Р.В. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*.

2018. N1 (49). С. 262-269. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269.
3. Бышов Н.В., Борячев С.Н., Рембалович Г.К. и др. Математическая модель технологического процесса картофелеуборочного комбайна при работе в условиях тяжелых суглинистых почв // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А.Костычева*. 2014. N4 (24). С. 59-64.
 4. Бышов Н.В., Борячев С.Н., Успенский И.А. и др. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2012. N4(16). С. 87-90. EDN: PLVONF.
 5. Бобрышов А.В., Лиханос В.А. Расчет максимальных динамических нагрузок в трансмиссиях машинно-тракторных агрегатов // *SWorld*. 2014. Т. 4. N3. С. 24.
 6. Королев А.Е. Безотказность картофелеуборочных комбайнов // *NovaUm.Ru*. 2017. N10. С. 38-40. EDN: YNDSNI.
 7. Овчинникова Н.И., Боннет В.В., Косарева А.В. Диагностирование технического состояния приводов картофелеуборочного комбайна // *Аграрный научный журнал*. 2021. N9. С. 95-97. DOI: 10.28983/asj.2021i9pp95-97.
 8. Годжаев З.А., Сапьян Ю.Н., Колос В.А., Горшков М.И. Расход и потери горюче-смазочных материалов в мобильной сельскохозяйственной технике // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 9-14. DOI: 10.22314/207375992017.2.914. EDN: YODAPN.
 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.
 10. Денисов В.А., Славкина В.Э., Алехина Р.А., Касимов Р.М. Повышение долговечности деталей экстерьера сельскохозяйственной техники с использованием композиционных материалов // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N4(153). С. 90-96. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-4-90-96. EDN: VHLKIM.
 11. Arola D., Williams C.L. Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces. *International Journal of Fatigue*. 2002. Vol. 24. N9. 923-930. DOI: 10.1016/S0142-1123(02)00012-9.
 12. Барсуков Г.В., Кожус О.Г., Винокуров А.Ю. Исследование абразивной способности искусственных и природных абразивов, обеспечивающих производительность гидроабразивного резания // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2018. N2. С. 34-40. EDN: UXZGMJ.
 13. Lavrinenko V.I. Current advances in the development of abrasive tools and Investigation of diamond abrasive machining processes (Materials science approach). *Review. Journal of Superhard Materials*. 2018. Vol. 40. 348-354. DOI: 10.3103/S1063457618050064.
 14. Отений Я.Н., Никифоров Н.И., Журавлев А.И. Комбинированная обработка длинных валов // *СТИН*. 2006. N6. С. 36-39.
 15. Сковородин В.Я., Антипов А.В. Влияние финишной отделочно-антифрикционной обработки валов на амплитудные параметры шероховатости поверхности // *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения*. 2018. С. 387-391.
 16. Неменко А.В., Никитин М.М. Управление качеством изделия при обработке металлов резанием // *Современные технологии: проблемы и перспективы*. 2019. С. 117-120. EDN: TQCRLW.
 17. Kobayashi H., Mark B., Turin W. Probability, random processes and statistical analysis. Cambridge University Press, 2012. 813.
 18. Cappe' O., Moulines E., Ryde'n T. Inference in hidden Markov models. Springer, 2005. 652.
 19. Wang B., Zhao W., Du Ya. et al. Prediction of fatigue stress concentration factor using extreme learning machine. *Computational Materials Science*. 2016. Vol. 125. 136-145. DOI: 10.1016/j.commatsci.2016.08.035.
 20. Syusyuka E.N. Possibility of applying X-ray methods to control the surface quality of a shaft line after finishing. *Journal of Physics: IOP Publishing*. 2021. Vol. 2061. N1. 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012022.
 21. Ragavanantham S., Kumar S.S., Shyam M.S. Optimisation of shutter speed in machine vision technique for monitoring grinding wheel loading. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 766. 878-883. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.766-767:878-883.

REFERENCES

1. Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Design diagrams of potato harvesters in the agricultural sector of Russia. *Agricultural machines and technologies*. 2013. N6. 22-25 (In Russian). EDN: RVTBIX.
2. Uspenskiy I.A., Rymbalovich G.K., Kostenko M.U., Beznozyuk R.V. Assessment of prospective technological schemes potato harvester. *Izvestia of the Lower Volga Agricultural University Complex*. 2018. N1 (49). 262-269 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269.
3. Byshov N.V., Borychev S.N., Rembalovich G.K. et al. A mathematical model of the technological process of potato harvester at work on heavy loamy soil. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2014. N4 (24). 59-64 (In Russian).
4. Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskiy I.A., et al. Technological and theoretical basis of potato harvesters secondary separation parameters in a case of harsh conditions of harvesting. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2012. N4. 87-90 (In Russian). EDN: PLVONF.

5. Bobryshov A.V., Likhanos V.A. Calculation of maximum dynamic loads in transmissions of machine and tractor units. *SWorld*. 2014. Vol. 4. N3. 24 (In Russian).
6. Korolev A.E. Reliability of potato harvesters. *NovaUm. Ru*. 2017. N10. 38-40 (In Russian). EDN: YNDSNI.
7. Ovchinnikova N.I., Bonnet V.V., Kosareva A.V. Technical condition diagnostics potato harvester drives and viruses. *Agrarian Scientific Journal*. 2021. N9. 95-97 (In Russian). DOI: 10.28983/asjy2021i9pp95-97.
8. Godzhaev Z.A., Sapyan Yu.N., Kolos V.A., Gorshkov M.I. Consumption and loss of fuels and lubricants in mobile agricultural machinery. *Agricultural Machines and Technologies*. 2017. N2. 9-14 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.2.914. EDN: YODAPN.
9. Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Main directions for increasing the resource wear-out working parts of agricultural machines. *Agricultural machines and technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 41-50 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50. EDN: IEUNKO.
10. Denisov V.A., Slavkina V.E., Alekhina R.A., Kasimov R.M. Increasing the durability of exterior parts of agricultural machinery using composite materials. *Technical Service of Machines*. 2023. Vol. 61. N4(153). 90-96 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-4-90-96.
11. Arola D., Williams C.L. Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces. *International Journal of fatigue*. 2002. Vol. 24. N9. 923-930 (In English). DOI: 10.1016/S0142-1123(02)00012-9.
12. Barsukov G.V., Kozhus O.G., Vinokurov A.Yu. Study of the abrasive ability of artificial and natural abrasives that ensure the productivity of waterjet cutting. *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2018. N2. 34-40 (In Russian). EDN: UXZGMJ.
13. Lavrinenko V.I. Current advances in the development of abrasive tools and investigation of diamond abrasive machining processes (Materials science approach). *Review. Journal of Superhard Materials*. 2018. Vol. 40. 348-354 (In English). DOI: 10.3103/S1063457618050064.
14. Oteniy Ya.N., Nikiforov N.I., Zhuravlev A.I. Combined processing of long shafts. *STIN*. 2006. N6. 36-39 (In Russian).
15. Skovorodin V.Ya., Antipov A.V. The influence of finishing and antifriction treatment of shafts on the amplitude parameters of surface roughness. *Scientific support for the development of the agro-industrial complex in conditions of import substitution*. 2018. 387-391 (In Russian).
16. Nemenko A.V., Nikitin M.M. Product quality management in machining of metals by cutting. *Modern technologies: problems and prospects*. 2019. 117-120 (In Russian). EDN: TQCRLW.
17. Kobayashi H., Mark B., Turin W. Probability, Random Processes and Statistical Analysis. Cambridge University Press, 2012. 813 (In English).
18. Cappé O., Moulines E., Ryden T. Inference in hidden Markov models. Springer, 200.652 (In English).
19. Wang B., Zhao W., Du Ya. et al. Prediction of fatigue stress concentration factor using extreme learning machine. *Computational materials science*. 2016. Vol. 125. 136-145 (In English). DOI: 10.1016/j.commatsci.2016.08.035.
20. Syusyuka E.N. Possibility of applying X-ray methods to control the surface quality of a shaft line after finishing. *Journal of Physics: IOP Publishing*. 2021. Vol. 2061. N1. 012022 (In English). DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012022.
21. Ragavanantham S., Kumar S.S., Shyam M.S. Optimization of shutter speed in machine vision technique for monitoring grinding wheel loading. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 766. 878-883 (In English). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.766-767:878-883.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Неменко А.В. – научное руководство;

Никитин М.М. – обработка данных.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Nemenko A.V. – research supervision;

Nikitin M.M. – 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

10.01.2024

01.03.2024

EDN: PYXGPS

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95



Научная статья

УДК 691.175.5/.8



Резервуар на БПЛА для обработки сельскохозяйственных угодий жидкими агрохимикатами

Александр Геннадьевич Магдин,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: magdin.sasha@yandex.ru;
Алексей Дмитриевич Припадчев,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: apripadchev@mail.ru;

Александр Алексеевич Горбунов,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: gorbynovaleks@mail.ru;
Даниил Викторович Домовецких,
студент,
e-mail: danya.domovetskikh@bk.ru

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

Реферат. Для обработки сельскохозяйственных посевов используются беспилотные летательные аппараты, несущие резервуары с жидкими химическими веществами. Отметим, что по прочности, термостабильности, устойчивости к ультрафиолетовым лучам, сроку эксплуатации емкости из полипропилена и полиэтилена уступают резервуарам из стеклопластика. (*Цель исследования*) Спроектировать конструкцию и изготовить резервуар из композиционного стеклопластикового материала с системой гашения гидравлического удара. (*Материалы и методы*) Для резервуара выбраны S-стекло и эпоксидновинилэфирная смола, которые наиболее устойчивы к химическим воздействиям. Для выполнения элементов резервуара использованы методы напыления, пропитки стекловолокнистого наполнителя в замкнутой форме, намотки. (*Результаты и обсуждение*) Провели сравнительный анализ моделей резервуаров с системой гашения гидравлического удара и без такой системы. Эффективность предлагаемого решения подтверждена в программном обеспечении КОМПАС-3D в приложении KompasFlow, где гидравлический удар будет распространяться внутри резервуара, отражаясь от стенок и постепенно затухая. Проведены расчеты нагрузок и прочности стеклопластикового резервуара, основанные на параметрах стекловолокна, в приложении APM FEM. (*Выводы*) Разработали модель резервуара для жидких химических веществ для опрыскивания посадок с беспилотных летательных аппаратов. Применили инновационные методы при изготовлении элементов резервуара. Кроме того, рассмотрели возможность сервисного обслуживания и ремонтпригодности. Объем резервуара (экспериментального образца) 0,0158 метра кубического, длина 480 миллиметров, ширина 216 миллиметров, толщина 3,6 миллиметра, масса около 4 килограммов. Конструкция крепления резервуара из композиционного материала к беспилотному летательному аппарату смоделирована таким образом, что вес беспилотного летательного аппарата не оказывает влияния на резервуар. **Ключевые слова:** стеклопластик, резервуар, композиционный материал, внедрение, жидкие химические вещества, беспилотные летательные аппараты, защита растений.

■ **Для цитирования:** Магдин А.Г., Припадчев А.Д., Горбунов А.А., Домовецких Д.В. Резервуар на БПЛА для обработки сельскохозяйственных угодий жидкими агрохимикатами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 89-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95. EDN: PYXGPS.

Scientific article

UAV-Mounted Tank for Processing Agricultural Land with Liquid Agrochemicals

Alexander G. Magdin,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: magdin.sasha@yandex.ru;
Alexey D. Pripadchev,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: apripadchev@mail.ru;

Alexander A. Gorbunov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gorbnovaleks@mail.ru;
Daniil V. Domovetskikh,
student,
e-mail: danya.domovetskikh@bk.ru

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. To process agricultural crops, unmanned aerial vehicles carrying tanks with liquid chemicals are used. The paper highlights that containers made of polypropylene and polyethylene exhibit inferior qualities compared to those made of fiberglass, specifically, in terms of strength, thermal stability, resistance to ultraviolet rays, and service life. (*Research purpose*) To design

and manufacture a tank made of composite fiberglass material with a water hammer damper. (*Materials and methods*) S-glass and epoxy vinyl ester resin were selected for the tank, as they exhibit superior resistance to chemical influences. To construct the tank elements, spray application, impregnation of glass fiber filler in a closed form, and winding were used. (*Results and discussion*) A comparative analysis was conducted on tank models, assessing their performance with and without a water hammer damper. The effectiveness of the suggested solution has been substantiated through the utilization of *KOMPAS-3D* software in the *KompasFlow* application. Within this software, the hydraulic shock is simulated to propagate inside the tank, reflecting off the walls, and gradually diminishing. Load and strength calculations for the fiberglass tank were performed by considering fiberglass parameters using the *APM FEM* application. (*Conclusions*) A tank model designed for application of liquid chemical substances in crop spraying from unmanned aerial vehicles has been developed. Innovative methods were employed in the manufacturing of the tank components. Additionally, careful consideration was given to the feasibility of maintenance and reparability. The tank's volume (experimental sample) measures 0.0158 cubic meters, with a length of 480 millimeters, a width of 216 millimeters, a thickness of 3.6 millimeters, and a weight of approximately 4 kilograms. The design for mounting the composite tank on the unmanned aerial vehicle ensures that the weight of the unmanned aerial vehicle does not impact the tank.

Keywords: fiberglass, tank, composite material, implementation, liquid chemicals, unmanned aerial vehicles, plant protection.

■ **For citation:** Magdin A.G., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A., Domovetskikh D.V. UAV-mounted tank for processing agricultural land with liquid agrochemicals. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 89-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95. EDN: PYXGPS.

Для оптимизации сельскохозяйственных работ и рационального использования ресурсов внедряются современные методы точного (координатного) земледелия. Концепция точного земледелия основана на подходе к участку поля как к отдельной комплексной агросистеме с локальными особенностями почвенных и климатических условий. Распространение в аграрной сфере технологий позиционирования, аэрофотосъемки, картирования, дистанционного анализа почвы расширяют возможности эффективного планирования и управления.

В развитии и внедрении систем точного земледелия большую роль играют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Они позволяют точнее обрабатывать посевы, сократить расход агрохимикатов и их воздействие на окружающую среду, исключить механическое повреждение растений (примятие от наземных технических средств). С помощью БПЛА можно организовать экстренную обработку сельскохозяйственных угодий при внезапном нашествии насекомых-вредителей, в весеннюю распутицу и на труднодоступных участках.

В авиационной промышленности летательные аппараты все чаще конструируют из композиционных материалов [1]. Из них можно изготавливать резервуары для жидких веществ, которыми обрабатывают посевы с автоматизированных беспилотников (рис. 1) [2].

Большинство применяемых для этих целей емкостей изготовлены из термопластичных полипропилена или полиэтилена, однако по качеству они уступают такому композиционному материалу, как стеклопластик [3]. Как следует из таблицы, стеклопластик отличается важными преимуществами [4]. Срок эксплуатации стеклопластиковых резервуа-

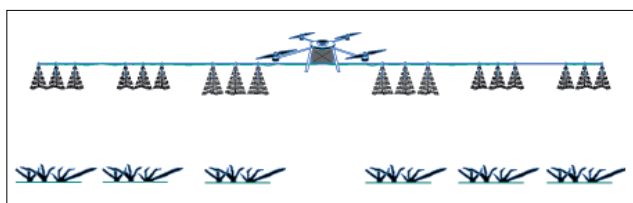


Рис. 1. Обработка полей с БПЛА

Fig. 1. Field spraying using UAV

ров составляет около 30 лет (полипропиленовых – до 20, полиэтиленовых – 7 лет для слабоагрессивных жидкостей и 3 года для агрессивных).

При выборе конструкции и технологии для изготовления стеклопластиковых резервуаров необходимо учитывать не только их прочность и долговечность, но и совместимость с другими компонентами беспилотного летательного аппарата, а также возможность обслуживания и ремонтпригодность.

Цель исследования. Проектирование и изготовление модели стеклопластикового резервуара с системой гашения гидравлического удара при помощи внутренних стенок и высокой эффективности применения.

Материалы и методы. Для конструирования резервуара выбраны наиболее устойчивые к химическому воздействию стекловолокно и смола, а также оптимальные методы изготовления элементов экспериментального образца.

Емкость представляет собой цилиндрическую обечайку 1 с цилиндрическим днищем 2 (рис. 2). Внутри расположены стенки 3, предотвращающие гидравлический удар, что способствует гашению волн жидкости. Благодаря небольшому уклону нижней части резервуара в сторону патрубка 5 и небольшим отверстиям в нижней части стенок жид-

Таблица СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРА / COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF TANK MATERIALS			Table
Полиэтилен (ПЭ)	Полипропилен (ПП)	Стеклопластик на эпоксидной основе	
<i>Прочность</i>			
Низкий предел прочности Преимущества ударная вязкость и высокая пластичность Прочность на разрыв ПЭ высокого давления от 20 до 37 МПа	Выдерживает случайные удары, столкновения, вибрацию, истирание, но при больших усилиях деформируется Прочность на разрыв ПП обычных типов от 25 до 45 МПа	По удельной прочности превосходит сталь при меньшей толщине Прочность на разрыв от 300 до 500 МПа	
<i>Термоустойчивость</i>			
Низкая термоустойчивость, не допускается к эксплуатации в экстремальных условиях. Стабильные технические характеристики при низкой температуре от -70 до -100°C	Сохраняет эксплуатационные свойства при температуре от -20 до +100°C Емкости из ПП невозможно использовать в полярной климатической зоне	Обычно эпоксидный стеклопластик выдерживает температуру от -40 до +135 °C	
<i>Устойчивость к ультрафиолету</i>			
Изменение цвета и механических свойств (становится хрупким, растрескивается даже без механической нагрузки)	Становится хрупким, повреждается поверхность изделия. Этот процесс ускоряется при повышенной температуре окружающей среды	Устойчив к воздействию ультрафиолетового излучения	
<i>Цена</i>			
Приемлемая	Приемлемая	Высокая цена из-за сложности изготовления	
<i>Вес</i>			
Удельный вес от 0,91 до 0,976 г/см ³	Удельный вес 0,91 г/см ³	Удельный вес стеклопластика на эпоксидной основе около 1,6-2,0 г/см ³ и зависит от конкретного состава материала и наличия дополнительных добавок	

кость полностью сливается. Химические препараты заливают сверху через горловину 4.

Стеклопластик состоит из связующего и армирующего компонентов. Для экспериментальной модели резервуара связующим элементом служит эпоксивинилэфирная смола, из нее производят высокоустойчивое к химическим воздействиям и коррозии полимерное соединение. Изделия из стеклопластика могут эксплуатироваться в агрессивной среде. Это дешевый и доступный материал, обладающий хорошими технологическими свойствами [3]. Армирующим элементом стеклопластика слу-

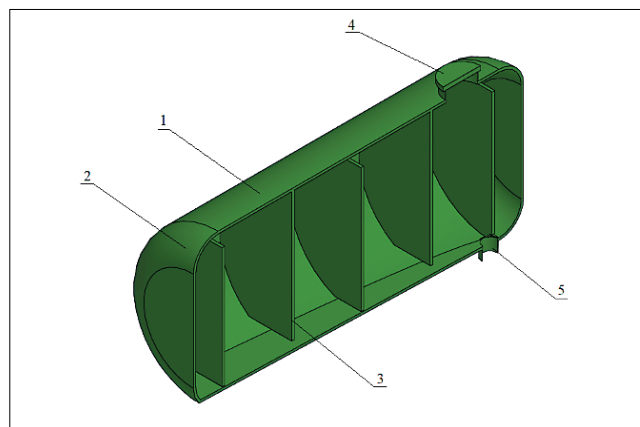


Рис. 2. Конструкция резервуара для жидких химических веществ (в разрезе): 1 – обечайка; 2 – днище; 3 – стенка; 4 – горловина; 5 – патрубок для слива жидкости
Fig. 2. The design of the tank for liquid chemicals (sectional view): 1 – shell; 2 – bottom; 3 – wall; 4 – neck; 5 – branch pipe

жат волокна S-стекла с высокими показателями прочности на растяжение и сжатие, термостойкости и ударопрочности [4].

Для придания стеклопластику определенной конфигурации используются металлические формы, изготовленные литьем, формованием, штамповкой.

Днище резервуара образовано методом напыления стеклопластика (рис. 3). Суть его заключается в одновременном нанесении на поверхность металлической формы связующего элемента – эпоксивинилэфирной смолы и нарезанного на отрезки жгута из S-стекла [5].

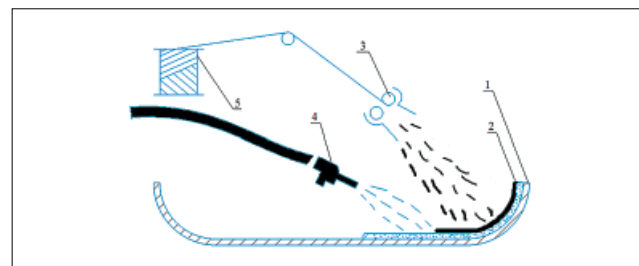


Рис. 3. Формирование днища методом напыления: 1 – металлическая форма конструкции; 2 – еще неуплотненный слой связующего и армирующего компонентов; 3 – режущее устройство; 4 – распылительное устройство; 5 – жгут из S-стекла
Fig. 3. Shaping the bottom by spraying: 1 – surface of the metal mold; 2 – still uncompacted layer of binder and reinforcing components; 3 – cutting device; 4 – spray device; 5 – bundle of S-glass

На металлическую форму 1 через распылительное устройство 4 наносится эпоксивинилэфирная смола и в эту же зону напыляется армирующий стекложгут 5, нарезанный на отрезки длиной 25-30 мм. При взаимодействии связующего и армирующего компонентов образуется двухслойная композиция 2 толщиной примерно 7-10 мм, которая уплотняется прикатывающими вальками, чтобы внутри не образовались пустоты и пузырьки воздуха. Для затвердевания применяют инфракрасный нагреватель или горячий воздух [6].

Стенки резервуара изготовлены методом пропитки стекловолоконистого наполнителя в замкнутой форме (рис. 4).

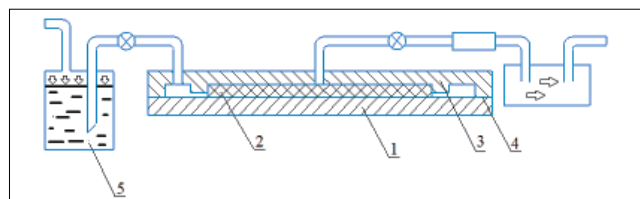


Рис. 4. Формование изделий из стеклопластика пропиткой наполнителя в замкнутой форме: 1 – пуансон; 2 – наполнитель; 3 – матрица; 4 – уплотняющее кольцо; 5 – бак со связующим компонентом

Fig. 4. Molding of fiberglass products by impregnating filler in a closed form: 1 – punch; 2 – filler; 3 – matrix; 4 – sealing ring; 5 – tank with a binder

На пуансоне 1 выкладывается послойно сухой наполнитель 2 [7]. Пуансон смыкается с матрицей 3, сжимая армирующий элемент (волокно S-стекла) до окончательных размеров изделия. Герметичность полости формы достигается установкой уплотняющего кольца 4. За счет разрежения, создаваемого в полости формы, связующий компонент засасывается из бака 5 и пропитывает наполнитель. Изделия получаются почти без включений воздуха [8]. Формы изготовлены из стального и алюминиевого проката. При эксплуатации они подвергаются значительным механическим нагрузкам, возникающим при сжатии наполнителя и пропитке его связующим [9].

Цилиндрическая обечайка изготавливается методом намотки, который применяется для выполнения изделий, имеющих форму тела вращения. Изделие получается прочное за счет ориентированной укладки армирующего элемента и его высокого содержания в материале. При небольших изделиях используется станок с вращающейся в двух плоскостях оправкой, на которую наполнитель подается неподвижным раскладчиком. Горловина и патрубок резервуара изготовлены аналогично.

Для сборки резервуара из подготовленных элементов на внутреннюю часть обечайки прикрепляются стенки на слой эпоксидного клея, поверхно-

сти плотно прижимаются и фиксируются струбцинами или иным образом. Обечайки соединяют с днищами, в готовый корпус резервуара врезают горловину и патрубок для слива содержимого. Перед соединением деталей поверхности стыков тщательно приторцовывают и края обезжиривают, места соединений герметизируют специальным клеем [10].

Объем резервуара (экспериментального образца) составляет 0,0158 м³, длина 480 мм, ширина 246 мм, толщина 3,6 мм, масса около 4 кг. Резервуар устанавливается на БПЛА коптерного типа сельскохозяйственного назначения (ценовой сегмент средний и ниже среднего) на две опорные стойки 1, на которых закреплена форма под емкость 2 (рис. 5). Форма также имеет уклон в сторону сливного патрубка. Раздвижные фиксаторы 3 дополнительно обеспечивают неподвижность резервуара. Вся конструкция присоединяется к БПЛА с помощью ножек 4 [11]. Ножки установлены таким образом, что вес БПЛА приходится на опорные стойки и не влияет на вес конструкции формы под емкость.

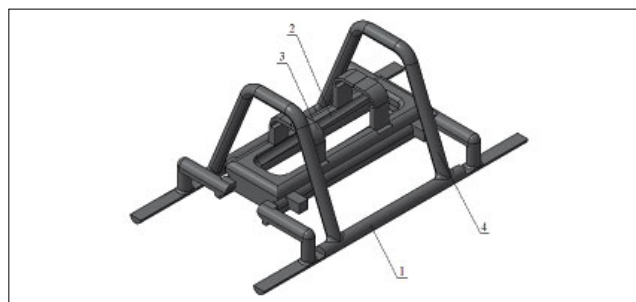


Рис. 5. Крепление резервуара с БПЛА: 1 – опорные стойки; 2 – форма под емкость; 3 – раздвижные фиксаторы емкости; 4 – ножки для БПЛА

Fig. 5. Attachment of the tank to the UAV: 1 – support posts; 2 – container mold; 3 – sliding capacitive clamps; 4 – UAV legs

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Действующие нагрузки на стеклопластиковый резервуар могут быть обусловлены различными факторами. Например, к ним относится давление, вызванное изменением скорости содержимого резервуара, вследствие этого возникает гидравлический удар. Сравнительный анализ резервуара с системой гашения гидравлического удара и без нее проведен в программном обеспечении *Kompas Flow*. Использовали обычную воду плотностью 1000 кг/м³.

К дальнему от патрубка днищу были приложены скорость 25 м/с и давление 0,000987 атм, время расчета 0,03 секунды. Для оценки протекающего процесса внутри емкости, поскольку давление и скорость приложены к внешней поверхности, исследованы зависимости давления, вызванного изменением скорости жидкости внутри резервуаров от времени (рис. 6).

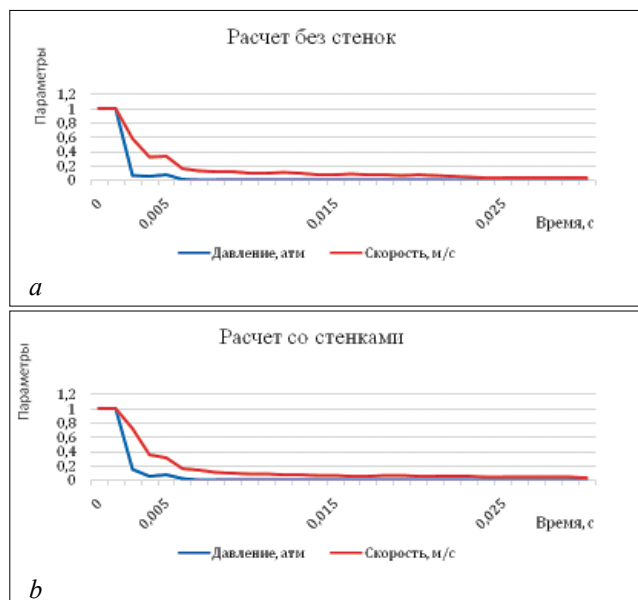


Рис. 6. Зависимость давления и скорости внутри резервуара от времени: а – без системы гашения гидравлического удара (без стенок); б – с системой гашения гидравлического удара (со стенками)
Fig. 6. The dependence of pressure and velocity inside the tank on time: а – without a hydraulic shock damping system; б – with a hydraulic shock damping system

Графики зависимости в обоих случаях почти не различаются. Однако при рассмотрении расчетных моделей резервуаров (рис. 7) очевидно, что для предотвращения гидравлического удара необходимы внутренние стенки, иначе удар распространяется более свободно (модель I). Это свидетельствует об отсутствии гашения давления, вызванного изменением скорости внутри емкости. В модели II, напротив, благодаря внутренним стенкам давление во всех точках емкости почти отсутствует. Гидравлический удар будет распространяться внутри резервуара, отражаясь от стенок и постепенно затухая.

Гидростатическое давление $P = \rho \cdot g \cdot h$ (ρ – плотность жидкости, в данном случае воды 1000 кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$; h – высота жидкости, м). Высоту h следует измерять от

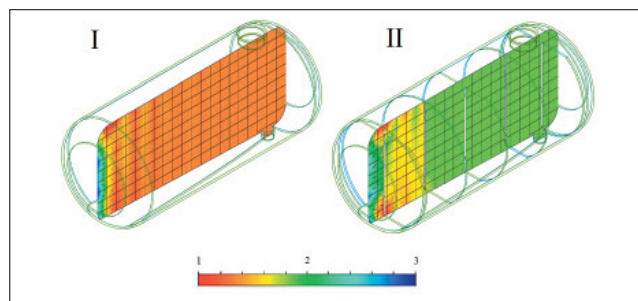


Рис. 7. Влияние давления воды на внутреннюю поверхность резервуаров без стенок (модель I) и со стенками (модель II)
Fig. 7. The impact of water pressure on the inner surface of tank models without walls (I) and with walls (II)

поверхности жидкости до точки, в которой рассчитывается давление. Точка выбрана в нижней части резервуара, имеющей уклон к сливному патрубку и где давление жидкости наибольшее. Таким образом, $h = 0,12 \text{ м}$ и гидравлическое давление $P = 0,012 \text{ атм}$.

На резервуар также могут действовать нагрузки от приложения внешних сил. Проведен сравнительный анализ прочности стеклопластикового резервуара с внутренними стенками и без них [11]. Прочность определяли с использованием приложения *APM FEM* для экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D [12]. Условием ставилось приложение на поверхность резервуара внешнего давления 3751 МПа отдельно на обечайку и днище [13]. Изменение формы стеклопластикового резервуара, после которого емкость деформируется пластически, показано на рисунке 8.

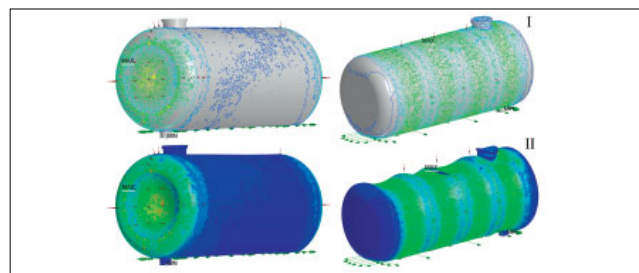


Рис. 8. Расчетная модель стеклопластикового резервуара при воздействии внешнего давления на днище и на обечайку, приводящего к деформации: I – воздействие внешнего давления в изолиниях; II – деформированное воздействие внешнего давления на днища и обечайку
Fig. 8. Calculation model of a fiberglass tank subjected to external pressure causing plastic deformation of the container: I – effects of external pressure on the bottoms and shell, presented in isolines; II – visually depicting the deformed effect of external pressure on the bottoms and shell

Численная оценка воздействия нагрузки на стеклопластиковый резервуар внешнего давления на днище и обечайку представлена на рисунке 9.

На модели показано максимальное и минимальное давление на внешнюю поверхность резервуара. На поверхности обечайки точка максимального приложения давления находится на верхней центральной части резервуара, а на днище – на его плоской поверхности на границе со скругляемым элементом. После превышения предела текучести материал начинает разрушаться, и этот процесс характеризуется пределом прочности на сжатие.

Для поддержания стеклопластикового резервуара в надлежащем состоянии, предотвращения возможных поломок и продления срока службы необходимо сервисное обслуживание: регулярные визуальные осмотры и выявление признаков износа; очистка и обслуживание фильтров для предотвращения их засорения; проверка уплотнений и соеди-

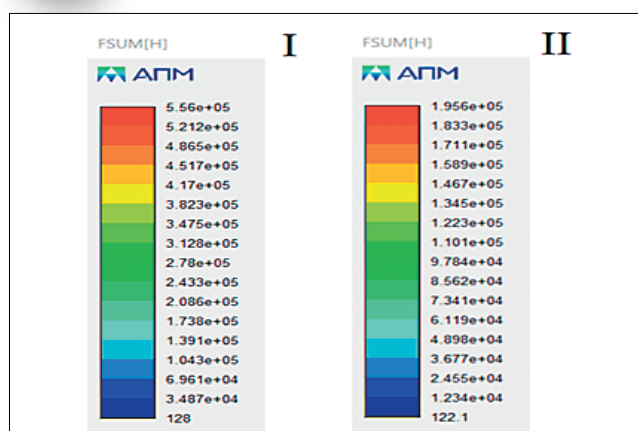


Рис. 9. Диаграмма воздействия внешнего давления на днище (слева) и обечайку (справа) рассматриваемой модели, демонстрирующей численные значения нагрузки (в Н) в соответствии с цветовой схемой

Fig. 9. Diagram illustrating the effect of external pressure on the bottoms (left) and shell (right) of the model under consideration, displaying numerical load values through a color scheme

нений. При ремонте необходимо учитывать тип и состав материала. Ремонтопригодность емкости зависит от типа повреждения. При небольших трещинах или сколах емкость относительно легко отремонтировать, но серьезные повреждения, затрагивающие несущие части резервуара, могут потребовать более сложных и дорогостоящих работ. В этом случае лучше заменить резервуар.

Выводы. Смоделирован стеклопластиковый резервуар для жидких химических веществ, прикрепляемый с помощью специальной конструкции на БПЛА для обработки посевов. По эксплуатационно-техническим характеристикам и долговечности для изготовления резервуара предлагается стеклопластик (S-стекло).

Предложен способ устранения гидравлического удара внутри емкости за счет установки дополнительных внутренних стенок. За счет этого увеличиваются долговечность, надежность и эффективность в работе, снижаются затраты на ремонт и замену стеклопластиковых конструкций. Выполнен расчет прочности и нагрузок на резервуар, определены основные параметры стеклопластика и максимальные точки внешнего давления на поверхность емкости. При изготовлении компонентов резервуара применены инновационные методы: напыление (формирование днища), пропитка стекловолоконного наполнителя в замкнутой форме (стенки) и намотка (обечайка, горловина и патрубок). Предложена специальная конструкция для фиксирования и крепления резервуара на БПЛА.

Экологичность стеклопластиковых резервуаров делает их безопасными, особенно при обработке полей химическими веществами. Устойчивость стеклопластика к температурным изменениям обеспечивает стабильную работу резервуаров, снижая риск протечек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Подтелкина О.А. Применение композиционных материалов при конструировании беспилотных летательных аппаратов // *Современные научные исследования и инновации*. 2018. N11(91). С. 21-22. EDN: YRXJNR.
- Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотов М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2019. N2. С. 47-51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. EDN: TITLEP.
- Almtteri N., Birch R., Guan Zh. Manufacturing process of S-glass fiber reinforced PEKK prepreps: World Academy of Science, Engineering and Technology International. *Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 12. N10. 943-947.
- Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. N3 (56). С. 48-58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
- Terekhov I.V., Chistyakov E.M. Binders used for the manufacturing of composite materials by liquid composite molding. *Polymers*. 2021. N14(1). 87. 1-30. DOI: 10.3390/polym14010087.
- Uday M., Kiran Kumar P. Heat transfer studies for infrared radiation assisted curing in polymer composites. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1473. DOI: 10.1088/1742-6596/1473/1/012027.
- Shaheen W.H.A., Kanapathipillai S., Mathew Ph., Prusty G. Optimization of compound die piercing punches and double cutting process parameters using finite element analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 2020. Vol. 234(1-2). 3-13. DOI: 10.1177/0954405419855507.
- Klosterman D., Browning C., Hakim I., Lach K. Investigation of various techniques for controlled void formation in fiberglass/epoxy composites. *Journal of Composite Materials*. 2020. N55(4). DOI:10.1177/0021998320952517.
- Уразбахтин Ф.А., Харинова Ю.Ю., Болонкин В.А. Предельные состояния в процессе отверждения волокнистых стеклопластиков // *Известия вузов. Авиационная техника*. 2015. N3. С. 79-85. EDN: VCORXH.
- Негматов С.С., Тухлиев Г.А., Негматова К.С., Бабаханова М.Г. Исследование эксплуатационных свойств композиционных полимерных клеев // *Universum: технические науки*. 2021. N8(89). С. 73-75.
- Galimov M., Fedorenko R., Klimchik A. UAV Positioning mechanisms in landing stations: classification and engineering design review. *Sensors*. 2020. Vol. N234(1-2).

С. 3-13. DOI:10.3390/s20133648. EDN: KPJBFC.
12. Мельников Д.А., Ильичев А.В., Вавилова М.И. Сравнение стандартов для проведения механических испытаний стеклопластиков на сжатие // *Труды ВИАМ*. 2017. N3(51).

С. 55-64. DX.DOI.ORG/ 10.18577/2307-6046-2017-0-3-6-6.
13. Бородулин А.С. Свойства и особенности структур стеклянных волокон, используемых для изготовления стеклопластиков // *Материаловедение*. 2012. N7. С. 34-37.

REFERENCES

1. Podtelkina O.A. The use of composite materials in the design of unmanned aerial vehicles. *Modern scientific researches and innovations*. 2018. N11(91). 21-22 (In Russian). EDN: YRXJNR.
2. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Use of uncleaned aircraft in agriculture. *Perm Federal Research Centre Journal*. 2019. N2. 47-51 (In Russian). DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. EDN: TITLEP.
3. Almtteri N., Birch R., Guan Zh. Manufacturing process of S-glass fiber reinforced PEKK prepregs: World Academy of Science, *Engineering and Technology International. Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 12. N10. 943-947 (In English).
4. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composite materials. *Aviation materials and technologies*. 2019. N3(56). 48-58 (In Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
5. Terekhov I.V., Chistyakov E.M. Binders used for the manufacturing of composite materials by liquid composite molding. *Polymers*. 2021. N14(1). 87. 1-30 (In English). DOI: 10.3390/polym14010087.
6. Uday M., Kiran Kumar P. Heat transfer studies for infrared radiation assisted curing in polymer composites. *Journal of Physics*. 2020. Vol. 1473 (In English). DOI: 10.1088/1742-6596/1473/1/012027.
7. Shaheen W.H.A., Kanapathipillai S., Mathew Ph., Prusty G. Optimization of compound die piercing punches and double cutting process parameters using finite element analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 2020. Vol. 234(1-2). 3-13 (In English). DOI: 10.1177/0954405419855507.
8. Klosterman D., Browning C., Hakim I., Lach K. Investigation of various techniques for controlled void formation in fiberglass/epoxy composites. *Journal of Composite Materials*. 2020. N55(4) (In English). DOI:10.1177/0021998320952517.
9. Urazbakhtin F.A., Kharinova Y.Y., Bolonkin V.A. Limiting states at curing of fibrous composite materials. *Russian Aeronautic*. 2015. N5. 79-85 (In Russian). EDN: VCORXH.
10. Negmatov S., Tukhliev G., Negmatova K., Babakhanova M. Study of performance properties of composite polymer adhesives]. *Universum*. 2021. N8(89). 73-75 (In Russian).
11. Galimov M., Fedorenko R., Klimchik A. UAV Positioning mechanisms in landing stations: classification and engineering design review. *Sensors*. 2020. Vol. N234(1-2). 3-13 (In English). DOI: 10.3390/s20133648. EDN: KPJBFC.
12. Melnikov D.A., Il'ichev A.V., Vavilova M.I. Comparison of standards for mechanical testing of fiberglass for compression. *Proceedings of VIAM*. 2017. N3(51). 55-64 (In Russian). DX.DOI.ORG/10.18577/2307-6046-2017-0-3-6-6.
13. Borodulin A.S. Properties and features of glass fiber structures used for the manufacture of fiberglass plastics. *Materialovedenie*. 2012. N7. 34-37 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Магдин А.Г. – обработка результатов исследования, формулирование основных целей и задач экспериментальных исследований;
Припадчев А.Д. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;
Горбунов А.А. – определение методологии исследования, формирование общих выводов;
Домовецких Д.В. – разработка модели, анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Magdin A.G. – processing research results, formulating the main goals and objectives of the experimental research;
Pripadchev A.D. – scientific guidance, formulating the research main directions;
Gorbulnov A.A. – defining the research methodology, formation of general conclusions;
Domovetskikh D.V. – model development, analysis and generalization of literature data, collecting literature data.
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

06.10.2023
27.11.2023



Система позиционирования рабочих органов при дифференцированном опрыскивании растений

Максим Арифович Мирзаев,
младший научный сотрудник,
e-mail: mirza.pochta@gmail.com;

Игорь Геннадьевич Смирнов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим связь увеличения масштабов применения пестицидов и агрохимикатов с их потенциальной опасностью для здоровья людей, загрязнения окружающей среды и продуктов питания. Большинство пестицидов используются путем опрыскивания посевов. Повысить эффективность и качество опрыскивания возможно за счет точного регулирования дозы и снижения потерь препаратов при переходе на дифференцированную обработку сельскохозяйственных угодий. Этому способствует внедрение роботизированных устройств для внесения средств защиты растений. (*Цель исследования*) Разработать систему позиционирования рабочих органов роботизированного устройства дифференцированного опрыскивания. (*Материалы и методы*) Посевы обрабатывали препаратами при помощи автономного полевого робота. Оценивали качество опрыскивания с применением форсунки. (*Результаты и обсуждение*) Установлены зависимости для расчета угла захвата форсункой одного растения и угла поднятия рычага. Создана компьютерная модель опрыскивания, позволяющая задавать различные параметры и сравнивать предлагаемый дифференцированный способ обработки растений с традиционным. Рассчитан коэффициент вариации, который отражает равномерность распределения капель по поверхности растения. Выявлена зависимость коэффициента вариации от скорости и расстояния опрыскивания при разных режимах работы: распыление на отдельное растение и на их ряд. (*Выводы*) Для традиционного метода опрыскивания коэффициент вариации составил 46 процентов. При дифференцированных методах опрыскивания этот показатель составил для режима обработки отдельного растения 25-28 процентов и 33-40 процентов опрыскивания рядов. В полевых исследованиях при отдельной обработке коэффициент вариации составляет 19-24 процентов против 30-35 процентов в режиме опрыскивания рядов.

Ключевые слова: средства защиты растений, дифференцированное опрыскивание, роботизированное устройство, форсунка TeeJet 110-04 VP, система позиционирования, коэффициент вариации, полевые испытания.

■ **Для цитирования:** Мирзаев М.А., Смирнов И.Г. Система позиционирования рабочих органов при дифференцированном опрыскивании растений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 96-100. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-96-100. EDN: DFOKEB.

Scientific article

Positioning System of Working Bodies in Differential Spraying of Plants

Maksim A. Mirzaev,
junior researcher,
e-mail: mirza.pochta@gmail.com;

Igor G. Smirnov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that the escalation in the use of pesticides and agrochemicals poses a significant risk to human health, environmental integrity, and food safety. The predominant method of pesticide application is crop spraying. Improved efficiency and quality of spraying, coupled with a reduction in drug costs, can be achieved by transitioning to differential treatment of agricultural land and precision dose regulation. The incorporation of robotic devices offers a promising solution to facilitate the process of plant protection. (*Research purpose*) The research aims to develop a positioning system for a robotic differential spraying device. (*Materials and methods*) were subjected to chemical treatment by an autonomous field robot, and the quality of spraying was assessed using a nozzle. (*Results and discussion*) The research established a relationship between calculating the nozzle capture angle of an individual plant and the angle of lever lift. Subsequently, a computerized spraying model was

developed, enabling the adjustment of various parameters and benchmarking the proposed differential spraying method against the traditional one. The variation coefficient, reflecting the uniformity of droplet distribution on the plant surface, was calculated. The results indicate that the variation coefficient is dependent on the speed and distance of spraying in different operating modes, including individual plant spraying and row spraying. (*Conclusions*) The variation coefficient for the traditional spray method was 46 percent. With the adoption of differential spraying methods, this variation coefficient decreased to 25-28 percent for individual plant spraying and 33-40 percent for row spraying. Field studies further demonstrated a variation coefficient of 19-24 percent for individual plant spraying in contrast to 30-35 percent for row-spray treatments.

Keywords: plant protection products, differential spraying, robotic device, TeeJet 110-04 VP nozzle, displacement system, variation coefficient, field tests.

■ For citation: Mirzaev M.A., Smirnov I.G. Positioning system of working bodies in differential spraying of plants. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 96-100 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-96-100. EDN: DFOKEB.

Сельское хозяйство является основной отраслью материального производства, от которой в большей степени зависит экономическая безопасность страны [1]. Применение новейших технологий в сельском хозяйстве существенно снижает себестоимость производства, увеличивает производительность и улучшает качество продукции [2].

К важнейшим мероприятиям по повышению урожайности сельскохозяйственных культур относятся химизация, которая заключается в использовании минеральных удобрений и средств защиты растений [3]. В условиях интенсификации агропромышленного производства научно обоснованная система защиты растений продолжает оставаться гарантом высокого и стабильного урожая при сохранении окружающей среды, сельскохозяйственных экосистем и почвы [4].

Решением указанных проблем является применение технологий спутникового мониторинга урожая, оценки здоровья растений с помощью такого параметра, как нормализованный разностный вегетационный индекс (*NDVI*), беспилотных летательных аппаратов [5-7]. Еще одним важным инструментом являются датчики окружающей среды, способные регистрировать информацию о потребностях почвы в воде [8]. Благодаря данным со спутников, беспилотных летательных аппаратов и датчиков, можно создавать интерактивные карты, которые характеризуют состояние здоровья поля и выявляют любые различия между отдельными районами посевов [9]. Активно развивается сфера применения роботизированных устройств в сельскохозяйственном производстве [10, 11].

Одним из способов предотвращения загрязнения окружающей среды служит дифференцированная обработка растений средствами защиты в зависимости от потребностей каждой зоны поля. Дифференцированное внесение удобрений относится к основным принципам устойчивого развития сельского хозяйства. Технологии точного земледелия позволяют уменьшить расход агрохимических

средств и увеличить урожайность культур с минимальным экологическим ущербом (Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2016. 364 с.). Кроме того, можно получить существенную экономию средств, что особенно актуально в условиях дефицита и высокой стоимости агрохимикатов [12].

Цель исследования – разработка системы позиционирования рабочих органов (подвижных форсунок) роботизированного устройства для дифференцированного внесения средств защиты растений методом опрыскивания.

Материалы и методы. Обработка экспериментальных данных и компьютерное моделирование осуществлялись с помощью программных средств с использованием автоматизированного проектирования *Siemens NX*, *Autodesk Netfabb*, *Meshlab*, *Autodesk Fusion 360*, *Microsoft Visual Studio*, *Mathcad 15*, *ImageJ*, *PlanExp B-D13*.

Система позиционирования распылительных форсунок устанавливается на полевого робота, разработанного на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [13]. Такое решение позволяет проводить предварительную точную настройку автономного роботизированного устройства под конкретную техническую задачу операции внесения агрохимических средств. К регулируемым параметрам относятся высота опрыскивающего устройства, угол наклона и угол распыла подвижной форсунки.

Качество работы предложенной системы сравнивалось с традиционным методом опрыскивания. Для этих целей выбрали классическую для данного типа задач форсунку *TeeJet 110-04 VP*. Параметры распыления для симуляции опрыскивания щелевым плоскофакельным распылителем следующие: угол распыла 80 град; размер капель 350-450 мкм; высота штанги 70 см; расстояние между распылителями 504 см; рабочее давление 2,5 бар; производительность насадки 1,44 л/мин.

Для оценки режимов работы рабочего органа, т.е. равномерности процесса дифференцированно-

го внесения, и сравнения с технологией сплошного опрыскивания поставлен полный трехфакторный эксперимент ПФЭ 2³. Факторами планирования выбраны: режим работы x_1 (опрыскивание растений или их рядов), поступательная скорость движения роботизированного устройства x_2 (от 0,75 до 1,25 м/с, шаг варьирования 0,25 м/с), расстояние до центра растения x_3 (от 28 до 40 см, шаг 6 см). Функцией отклика принят коэффициент вариации. Коэффициент вариации представляет собой отношение среднеквадратического отклонения к среднему арифметическому (в процентах) и является относительной характеристикой равномерности распределения случайной величины, в данном случае количества капель, улавливаемых карточками, которые расположены в разных частях растения. Опыт поставлен согласно ГОСТ 34630-2019 «Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний».

Исследование проводилось на территории Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства (ВНИИО) – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, Раменский район, д. Верея) (рис. 1).

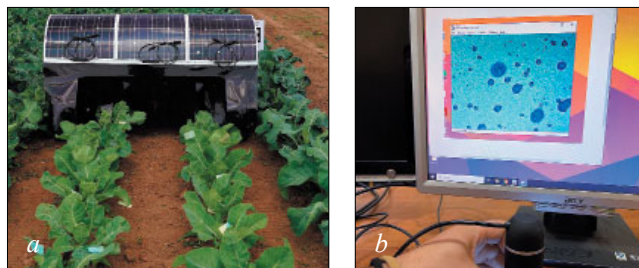


Рис. 1. Исследование равномерности обработки растений методом дифференцированного опрыскивания: а – снимок с полевых испытаний; б – обработка учетных карточек
Fig. 1. Exploring plant treatment uniformity through the differential spraying method: a – field test picture; b – record card processing

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для обеспечения качественного результата предлагаемого устройства количество агрохимического средства должно быть аналогично используемому при традиционном методе на обрабатываемой площади с учетом возможных потерь при дифференцированном опрыскивании. Дозировка вносимой агрохимии происходит за счет регулирования времени опрыскивания

$$t_{\text{раст}} = \frac{\pi \cdot k \cdot q_{\text{трад.}} \cdot r_{\text{раст.}}^2}{n \cdot q_{\text{форс.}}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент перерасхода при дифференцированном методе; $q_{\text{трад.}}$ – расход средства при традиционном методе на единицу площади, л/м²; $q_{\text{форс.}}$ – расход одной форсунки на единицу времени, л/с; n – количество форсунок, шт.

Угловая скорость вращения рычагов рабочего

органа роботизированного устройства вокруг вертикальной оси

$$\omega_{\text{вращ.рыч.}} = \frac{n \cdot q_{\text{форс.}}}{\pi \cdot k \cdot q_{\text{трад.}} \cdot r_{\text{раст.}}}, \text{ рад/с}, \quad (2)$$

где $r_{\text{ст}}$ – радиус обработки растения на основе статистического анализа заданного участка, м.

Для предотвращения пересечения потоков распыляемого средства при использовании нескольких форсунок они должны быть повернуты вокруг своей оси. Также это позволяет уменьшить ширину охвата одной форсунки, что важно для точной обработки растений. Угол поднятия рычагов для обработки растения (φ , град), угол поворота форсунки, установленной на рычаге, и проекция угла распыла форсунки на плоскость, перпендикулярную движению роботизированного устройства (α , град):

$$\varphi = 2 \cdot \arctg \left(\frac{-(r+h \cdot tg \frac{\alpha_0}{2}) \pm \sqrt{r^2 + h^2 - d^2 + 2 \cdot h \cdot r \cdot tg \frac{\alpha_0}{2} + (r^2 - h^2) \cdot tg^2 \frac{\alpha_0}{2}}}{h + d + r \cdot tg \frac{\alpha_0}{2}} \right) + (1 + 2 \cdot n) \cdot \pi, n \in Z; \quad (3)$$

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin \left(\cos \beta \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2} \right) + 2 \cdot \pi \cdot n, n \in Z, \quad (4)$$

где r – радиус обработки одного растения, м; h – высота точки крепления рычагов на раме, м; d – кратчайшее расстояние от точки крепления рычага до форсунки, м; α_0 – угол распыла щелевой плоскофакельной форсунки, град; β – угол поворота плоскости распыла форсунки к плоскости, перпендикулярной движению роботизированного устройства, град.

Создана компьютерная модель, позволяющая задавать различные параметры опрыскивания и сравнить традиционный и дифференцированный способы обработки растений по равномерности распределения капель. Растение обрабатываемой культуры условно представлено в виде трехмерной модели. Для уточнения параметров форсунки проведен опыт, в котором определяли распределение капель по зонам (рис. 2).

По результатам запуска симуляции с параметрами для традиционного метода в соответствии с ГОСТ 34630-2019 рассчитано значение коэффициента вариации. Для традиционного метода коэффициент вариации составил 46%.

По равномерности опрыскивания режимов работы системы позиционирования распылительных устройств в компьютерной модели составлен график зависимости коэффициента вариации от скорости и расстояния опрыскивания при разных режимах работы (рис. 3).

Выводы. Получены теоретические зависимости для дозирования агрохимической жидкости, угла поднятия рычагов рабочих органов и угла поворота форсунки, установленной на рычаге. Указанные

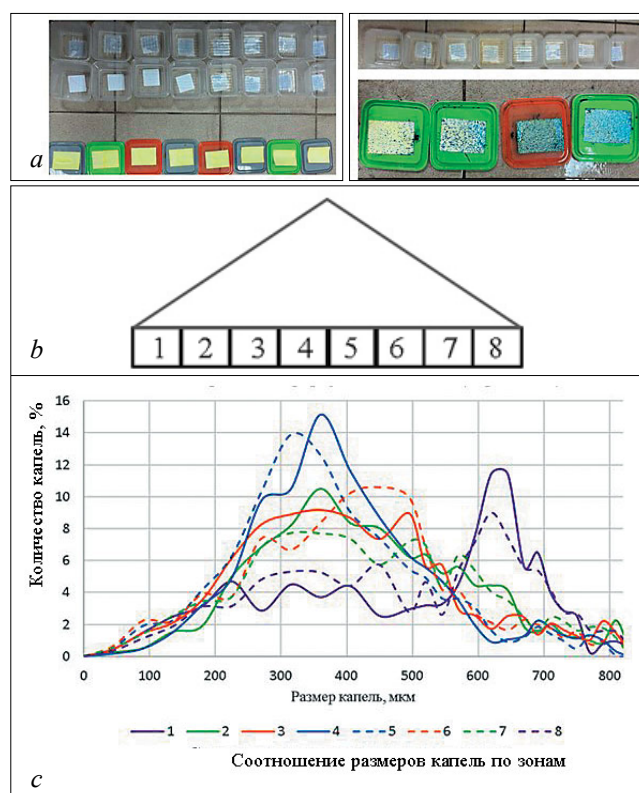


Рис. 2. Анализ распределения распыла форсунки: а – измерение параметров распыла форсунки; б – разбивка распыла форсунки по зонам (карточкам); в – соотношение размеров капель по зонам

Fig. 2. Analysis of nozzle spray distribution: a – measurement of nozzle spray parameters; b – breakdown of nozzle spray by zones (cards); c – droplet size ratio by zones

параметры рассчитываются индивидуально для каждого растения на основе данных с алгоритма распознавания растений и выделения целевой площади обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абросимова М.С., Иванов Е.А., Кочергина С.Г. Состояние и направления развития сельского хозяйства региона // *Российское предпринимательство*. 2018. Т. 19. N4. С. 977-990. DOI: 10.18334/rp.19.4.39006. EDN: UQAFGE.
2. Измайлов А.Ю. Точное земледелие: проблемы и пути решения / А.Ю. Измайлов, Г.И. Личман, Н.М. Марченко // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. N 5. С. 9-14. EDN: MWLXCI.
3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68. EDN: GBEQZI.
4. Mandal A., Sarkar B., Mandal S., Vithanage M. Impact of agrochemicals on soil health. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*. 2020. N7. 161-187. DOI: 10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6.
5. Козубенко И.С., Савин И.Ю. Спутниковые данные в управлении агропромышленным комплексом региона // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017. N5. С. 9-11. EDN: ZWIEXH.
6. Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 32. N1. 1-6. DOI: 10.1007/s11676-020-01155-1.
7. Смирнов И.Г., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Горшков Д.М. Дифференцированная обработка сельхозугодий с помощью БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4(37). С. 30-35. EDN: LFOUD.
8. Романенкова М.С., Балабанов В.И. Применение цифровых технологий в растениеводстве // *Наука в Центральной России*. 2020. N2(44). С. 74-82. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82. EDN: ZSKSNJ.
9. Личман, Г.И., Марченко Н.М. Космический монито-

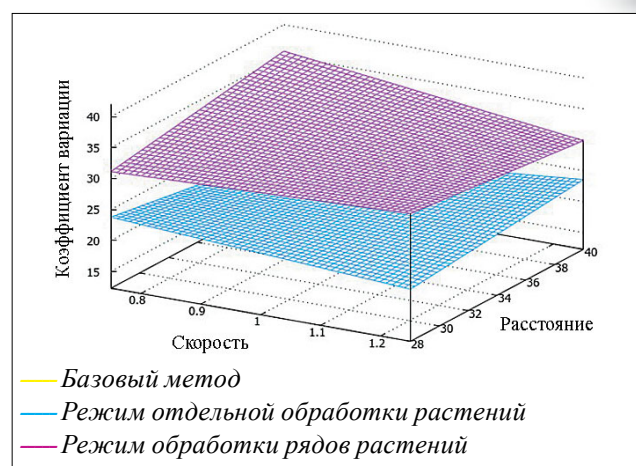


Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации от режима, скорости и расстояния опрыскивания

Fig. 3. Variation coefficient dependence on spraying mode, speed and distance

Проведено теоретическое исследование равномерности процесса опрыскивания растений с помощью компьютерного моделирования, а также для технологии сплошного внесения (коэффициент вариации составил 46%). При дифференцированных методах опрыскивания коэффициент вариации составил 25-28% в режиме отдельной обработки и 33-40% при опрыскивании рядов (при скоростях роботизированного устройства 0,75-1,25 м/с и расстоянии 0,28-0,4 м).

Полевое исследование равномерности опрыскивания при двух режимах работы системы позиционирования рабочих органов показало, что на всех изученных уровнях варьирования факторов при отдельной обработке растений коэффициент вариации ниже (19-24% против 30-35% в случае обработки рядов).

ринг в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. N1. С. 27-31. EDN: KYUHTT.

10. Шалова С.Х., Загазежева О.З. Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2019. N7(209). С. 57-70. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70.
11. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // *Вестник российской сельско-*

хозяйственной науки. 2019. N4. С.63-68. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/63-68>.

12. Шишацкий О.Н. Глобальная индустрия защиты растений // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2021. Т. 14. N4. С. 541-549. DOI: 10.17516/1997-1389-0371.
13. Мирзаев М.А. Проектирование автономного полевого робота для дифференцированного внесения агрохимических средств // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С. 131-136. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-131-136. EDN: NBJZNR.

REFERENCES

1. Abrosimova M.S., Ivanov E.A., Kochergina S.G. State and development trends in the region's agriculture. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2018. Vol. 19. N4. 977-990 (In Russian). DOI: 10.18334/rp.19.4.39006. EDN: UQAFGE.
2. Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Marchenko N.M. Precision agriculture: problems and solutions. *Agricultural machinery and technologies*. 2010. N5. 9-14 (In Russian). EDN: MWLXCJ.
3. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S., et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian agricultural sciences*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68. EDN: GBEQZI.
4. Mandal A., Sarkar B., Mandal S., Vithanage M. Impact of agrochemicals on soil health. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*. 2020. N7. 161-187 (In English). DOI: 10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6.
5. Kozubenko I.S., Savin I.Yu. Satellite data in the agro-industrial complex management of the region. *Vestnik of the Russian agricultural sciences*. 2017. N5. 9-11 (In Russian). EDN: ZWIEXH.
6. Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 32. N1. 1-6. DOI:10.1007/s11676-020-01155-1.
7. Smirnov I.G., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Gorshkov D.M. Differential spraying of farmland via unmanned aerial vehicles. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2019. N4(37). 30-35 (In Russian).
8. Romanenkova M.S., Balabanov V.I. Application of digital technologies in plant crops. *Science in the Central Russia*. 2020. N2(44). 74-82 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82. EDN: ZSKSNJ.
9. Lichman G.I., Marchenko N.M. Space monitoring in the precision agriculture system. *Agricultural machinery and technologies*. 2010. N1. 27-31 (In Russian). EDN: KYUHTT.
10. Shalova S.Kh., Zagazezheva O.Z. Overview of agricultural robots market and their impact on economic development. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2019. N7(209). 57-70 (In Russian). DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70.
11. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. About synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/63-68>.
12. Shishatskiy O.N. Global crop protection industry. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2021. Vol. 14. N4. 541-549 (In Russian). DOI: 10.17516/1997-1389-0371.
13. Mirzaev M.A. Design of an autonomous field robot for differential application of agrochemicals. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2021. Vol. 68. N4(45). 131-136 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-131-136. EDN: NBJZNR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Мирзаев М.А. – разработка методики исследований, выбор и обоснование основных исследуемых параметров, проведение испытаний, формирование общих выводов; Смирнов И.Г. – научное руководство, планирование методики исследований.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Mirzaev M.A. – development of research methodology, selection and justification of the main study parameters, conducting experiments, formation of general conclusions; Smirnov I.G. – scientific guidance, research methodology planning.

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

EDN: SKBDLJ

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-101-107



Научная статья

УДК 631.171



Работоспособность элементов макета системы оценки коров в создаваемых условиях внешней среды

Сергей Сергеевич Юрочка,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: yssvim@yandex.ru;

Игорь Мамедяревич Довлатов,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: dovlatovim@mail.ru;

Артём Рустамович Хакимов,
младший научный сотрудник,
e-mail: arty.hv@gmail.com;

Илья Владимирович Комков,
магистрант, специалист,
e-mail: ilyakomkov10@yandex.ru;

Дмитрий Юрьевич Павкин,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;

Савр Олегович Базаев,
кандидат сельскохозяйственных наук,
научный сотрудник,
e-mail: sbazaeff@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10041, <https://rscf.ru/project/23-76-10041/>.

Реферат. Оценка фенотипа является неотъемлемой частью работы по улучшению генетического потенциала отечественных пород крупного рогатого скота. Проводятся исследования по цифровизации и автоматизации фенотипирования с использованием оптических систем распознавания и оценки линейных параметров животных. Разрабатывается макет бесконтактной системы мониторинга показателей фенотипа скота. Перемещение животных внутри макета (лабораторного измерительного стенда) ограничивается специальным прозрачным стеклом из полиэтилентерефталата, что позволяет получать трехмерные снимки экстерьеров животных. Для подтверждения пригодности стекла к эксплуатации проведены лабораторные испытания. *(Цель исследования)* Определение степени влияния загрязнения стекла на точность работы оптической системы распознавания животных. *(Материалы и методы)* Приведены характеристики лабораторного стенда, объекта и оборудования, методика и условия эксперимента. Вероятность определения степени загрязнения стекла выражалось в пределах 0-1 (0,78 – высокая вероятность определения). *(Результаты и обсуждение)* Исследование показало, что система определения линейных параметров животных способно стабильно работать при загрязнении ограждающего стекла до 30 процентов включительно. При загрязнении 50 процентов и некачественной очистке стекла возможность распознавания точек интереса снижается в 1,625 раза, а при загрязнении 80 процентов качественный сбор данных невозможен, в виду того, что камера не способна определить объект. При некачественной очистке стекла система работает нестабильно. *(Выводы)* Оптическая система позволяет распознавать и проводить оценку линейных параметров животных при загрязнении ограждающего стекла лабораторного стенда не более 50 процентов и при условии его качественной очистки. При загрязнении стекла до 30 процентов данные оценки выше на 2,6-38 процента по сравнению с другими уровнями загрязнения.

Ключевые слова: животноводство, фенотипирование, бонитировка, линейная оценка экстерьера, бинокулярная стереопара, искусственный интеллект, полиэтилентерефталат.

■ **Для цитирования:** Юрочка С.С., Довлатов И.М., Хакимов А.Р., Комков И.В., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Работоспособность элементов макета системы оценки коров в создаваемых условиях внешней среды // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 101-107. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-101-107. EDN: SKBDLJ.

Scientific article

Performance of Cow Evaluation System Elements in Simulated Environmental Conditions

Sergey S. Yurochka,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: yssvim@yandex.ru;

Igor M. Dovlatov,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: dovlatovim@mail.ru;

Artem R. Khakimov,
junior researcher,
e-mail: arty.hv@gmail.com;

Ilya V. Komkov,
master's student, specialist,
e-mail: ilyakomkov10@yandex.ru;

Dmitry Yu. Pavkin,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;

Savr O. Bazaev,
Ph.D. (Agri), researcher,
e-mail: sbazaeff@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Animal phenotype assessment plays a crucial role in enhancing the genetic potential of domestic breeds. Currently, research is underway to digitize and automate phenotyping through optical systems, enabling the recognition and evaluation of animals' linear parameters. A prototype of a non-contact monitoring system for livestock phenotype indicators is currently under development. The movement of animals within the model (a laboratory measuring stand) is restricted by a specially designed transparent barrier made of polyethylene terephthalate, enabling the capture of three-dimensional photographs of the animals' exterior. To validate the suitability of glass for this purpose, laboratory tests were conducted. (*Research purpose*) The research aims to determine the degree of relationship between protective glass contamination and the accuracy of the optical animal recognition system. (*Materials and methods*) The paper outlines the specifications of the laboratory stand, facilities, and equipment used, along with the methods employed and experimental conditions. The probability of determining the degree of protective glass contamination was quantified on a scale of 0 to 1, with a value of 0.78 indicating a high likelihood of accurate determination. (*Results and discussion*) The findings reveal that the system for determining the linear parameters of animals can operate reliably even when the protective glass is contaminated up to 30 percent. When the contamination reaches 50 percent due to inadequate glass cleaning, the system's ability to recognize points of interest reduces by a factor of 1.625. Furthermore, at 80 percent contamination, achieving high-quality data collection becomes unfeasible as the camera fails to recognize the object. Proper cleaning of the glass is imperative to maintain the system stability. (*Conclusions*) The optical system enables the recognition and evaluation of animals' linear parameters, provided that the protective glass of the laboratory stand is contaminated by no more than 50 percent and undergoes high-quality cleaning. At lower levels of glass contamination, up to 30 percent, these estimates exhibit a 2.6-38 percent increase compared to other contamination levels.

Keywords: livestock breeding, phenotyping, grading, linear assessment of exterior, binocular stereo pair, artificial intelligence, polyethylene terephthalate

For citation: Yurochka S.S., Dovlatov I.M., Khakimov A.R., Komkov I.V., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O. Performance of cow evaluation system elements in simulated environmental conditions. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 101-107 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-101-107. EDN: SKBDLJ.

Использование цифровых и интеллектуальных технологий потенциально позволяет достигать высоких показателей товарного производства и улучшений в части содержания сельскохозяйственных животных [1]. В России существует значительный потенциал развития сельского хозяйства, но реализовать имеющийся потенциал можно, если повысить эффективность аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, роботизации, цифровых технологий, искусственного интеллекта [2]. Приоритетами становятся создание систем мониторинга и оптимизации в области селекции и генетики, управления, планирования, прогнозирования в растениеводстве и животноводстве.

К важным направлениям деятельности государственных организаций, научных коллективов, а также частных компаний относится улучшение генетического потенциала отечественных пород крупного рогатого скота. Такая деятельность базируется на получении верифицированных данных о здо-

ровье, экстерьере, продуктивности, наследственности животных. Фенотипирование и генотипирование поголовья крупного рогатого скота (КРС) составляют основу качественной селекционной работы.

Сбор данных о фенотипе животных, в том числе линейных показателей экстерьера, преимущественно проводится вручную путем обмеров туловища. Человеческий фактор может влиять на достоверность получаемых данных о животных, что приводит к экономическим потерям и нецелевому расходованию ресурсов. Решением проблемы служит создание интеллектуальной системы бесконтактной цифровой оценки экстерьера крупного рогатого скота с точностью до 99%. При этом не обязательно останавливать животных в измерительной камере, оценку можно проводить в потоке икратно снизить трудоемкость процессов.

Использование систем видеонаблюдения открывает широкие возможности сбора и накопления информации о животном: его идентификации, местоположении, биофизиологических особенностях,

хронологии жизненного цикла, контролировать работу персонала фермы, оценивать прием и поедание корма, приращение объема и массы, следить за моционом и поведением, проводить бонитировку, диагностику заболеваний, другие ветеринарные и профилактические мероприятия [3]. Интеграция и интерпретация соответствующей сенсорной информации позволяет управлять животным посредством мониторинга в реальном времени состояния здоровья, поведения, продуктивности, воспроизводства, воздействия на окружающую среду [4]. Использование бесконтактного способа идентификации животных позволяет решать частные задачи.

Показана возможность измерения с помощью трехмерных камер массы тела и упитанности животных с вероятностью соответственно 0,89 и 0,63 [5]. Адекватный доступ к данным о весе является ключевым подходом к мониторингу здоровья скота и оценке производственных показателей [6].

При множестве известных методов взвешивания в настоящее время нет стандартизированного способа оценки, поэтому используются наиболее подходящие варианты под конкретные задачи и вид животных. Подтверждена возможность измерения массы тела животных с помощью бесконтактной технологии обработки трехмерных карт [7]. Мониторинг массы имеет первостепенное значение в принятии решений по управлению фермой, поскольку этот показатель напрямую связан с ростом, состоянием питания и здоровьем дойных коров.

Бесконтактная система, как правило, основывается на получении трехмерных карт глубины, которые описывают животное, для построения модели изображения. Ряд карт создается облаком точек, где каждая точка содержит в себе пиксел с данными по $\{X, Y, Z\}$ относительно трехмерной камеры. Подтверждена возможность использования облака точек для бесконтактного автоматического проведения бонитировочных работ [8]. В этом случае уменьшается ошибка измерений, вызванная движением животных в момент бонитировки. Установлено, что автоматическая система оценки состояния тела крупного рогатого скота может считаться точной [9]. Современные качественно обученные модели позволяют проводить оценку каждой коровы в пределах 0,25 балла упитанности по 5-балльной шкале, более точную по сравнению с рутинным способом.

Ранее авторами разработана система оценки упитанности с применением трехмерной камеры на основе времяпролетной (*ToF*) технологии [10]. Базовыми алгоритмическими элементами являлись распознавание областей интереса на спине животного и расчет линейных параметров. Бесконтактные датчики, такие как оптическая камера и *LiDAR*, относятся к недорогим, простым, бесстрессовым и не-

инвазивным методам. Более того, датчики можно адаптировать к измерениям как в помещении, так и на улице разных видов животных и их естественных особенностей (например, форма, окрас, характер движения) для мониторинга поведения [11].

Поскольку бесконтактные датчики могут работать непрерывно без участия оператора, обычно считается, что они способны с большей точностью количественно оценивать поведение животного в рамках заранее определенного процесса, который существенно не меняется [12]. Но бесконтактные датчики лишь позволяют получить трехмерные карты, а для проведения цифровой бонитировки необходимы обученные нейросети. Для обучения нейросетей цифровой бонитировке животных нужны большие массивы данных. Однако, фермерские и другие коммерческие организации редко публикуют такую информацию в открытом доступе из-за ценности данных [13].

Оценка фенотипа является частью разработки селекционных индексов животных и оценки признаков продуктивности, здоровья и экстерьера. Так, характеристики вымени, копыт и крупа относятся к важным показателям продуктивности, фертильности и здоровья, индикаторы двигательной активности коррелируют с потреблением сухого вещества и тепловым стрессом, а также связаны с продуктивностью и воспроизводством [14]. Важные данные о параметрах тела животных часто недостаточно измеряются в реальных условиях, что отражается на организации процессов разведения, откорма и в целом на успехе точного животноводства. Цифровая реконструкция морфометрии тела с помощью бесконтактного метода измерения (2D или 3D-изображения) и автоматическое определение размеров тела могут эффективно решить эти проблемы [15].

Вопросами разработки селекционных индексов занимается, в том числе И.М. Дунин [16]. Метод селекционных индексов дает возможность в каждом поколении отбирать животных с лучшим сочетанием продуктивных признаков, ранжировать их по величине и формировать высокопродуктивные группы животных с заданными параметрами продуктивности. На сегодняшний день необходимо автоматизировать весь процесс получения параметров здоровья, продуктивности и экстерьера.

Для широкого использования существующих данных, знаний и моделей необходимо разработать практическую систему, удовлетворяющую требованиям применения в условиях коммерческой фермы [17]. Для разработки селекционных индексов и улучшения генетического потенциала сельскохозяйственных животных необходимо создать автоматическую систему оценки экстерьера на основе оптических технологий, в частности 3D-камер.

Разработан макет интеллектуальной системы бесконтактной оценки экстерьерных показателей КРС с возможностью прогнозирования. Лабораторный измерительный стенд представляет собой бонитировочный станок, огражденный со стороны расположения 3D-камер прозрачной стенкой из специализированного стекла (полиэтилентерефталата), через которое осуществляется сканирование размеров животного.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – определение влияния загрязнения стенки из полиэтилентерефталата на точность работы системы распознавания животных.

В задачи исследования входило изучение качества измерения размерных параметров коров с помощью модуля камер через прозрачную стенку при разной степени ее загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использовался бонитировочный станок длиной без ножек 3060 мм, шириной 1806 мм, высотой без модуля для расположения камер сверху 2171 мм. Ширина внутри станка, куда заходят коровы, варьируется: 1150, 1000, 850, 700 мм. Камеры расположены на расстоянии 1000 мм от коровы и 896-946 мм от прозрачной стенки (рис. 1).

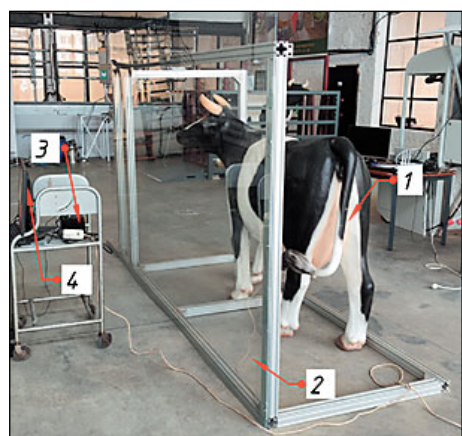
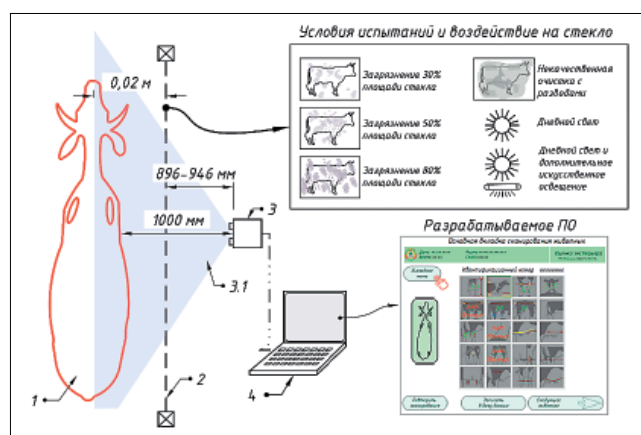


Рис. 1. Схема лабораторного стенда: 1 – корова; 2 – стенка из прозрачного полиэтилентерефталата; 3 – камера; 3.1 – область обзора камеры; 4 – компьютер
Fig. 1. The laboratory stand layout: 1 – cow; 2 – PET barrier; 3 – camera; 3.1 – camera viewing area; 4 – computer

Использовался модуль из бинокулярных камер. Стереопара из двух объективов 3-Inch CMOS OV4689 (4 Мп) расположена на одной плате на расстоянии 6,3 см друг от друга. Найденные объекты определялись с вероятностью от 0 до 1 (например, 0,74 для случаев высокой вероятности определения объекта). Разрешение 3840 Н × 1520 В, поле зрения 110 градусов, динамический диапазон до 64,6 дБ, тип фокусировки – ТФ, формат вывода MJPEG, YUV2, частота кадров – 30/1 в секунду в зависимости от формата вывода. Условия работы: температура воздуха от –20 до +70°C, относительная влажность воздуха 80-85%.

В эксперименте использовали датасет EasyPortrait, содержащий разметку 40 тысяч лиц с метками для определения частей лица (рот, брови, глаза). Поскольку необходимо определять конкретные точки на туловище КРС и/или сосков вымени был выбран аналог для используемых датасета и нейросети – поиск рта. YOLO v8 – наиболее точная нейросеть для поиска и определения объектов на изображении, которая поддерживает семантическую сегментацию. После обучения нейросеть способна отмечать контур рта на снимке, в качестве начальной искомой точки был выбран левый угол рта.

Прозрачная стенка лабораторного модуля изготовлена из полиэтилентерефталата: ее длина 3000 мм, высота 2000 мм, толщина 4 мм, светопропускание до 90% (глянцевая поверхность). Характеристики ПЭТ сохраняются от низких (–40°C) до высоких (+75°C) значений температуры. Этот полимер проявляет высокую химическую стойкость к бензину, маслам, жирам, спиртам, эфиру, разбавленным кислотам и щелочам.

В помещении, где содержатся коровы, стенка бонитировочной камеры может испытывать воздействие, приводящее к нарушению ее свойств. Это механические удары и скрежет рогами, толкание, а также загрязнение стекла от тела коров, размазывания хвостом грязи, следов насекомых, попадание брызг воды и проч., что сказывается на точности видеосканирования размеров животных.

Изучены свойства стекла при загрязненности в диапазоне от 30 до 80%, а также при некачественной очистке (мутное). Под загрязненностью стекла подразумевается то, насколько нарушается из-за внешних воздействий зрительное восприятие человеком объекта за стеклом.

Выявление объекта на изображении проводилось при дневном свете: без дополнительного освещения; с включенным общим светом в помещении; с дополнительная лампой на полу; с включенным общим светом и дополнительной лампой на полу. Также отличалась загрязненность стекла: малая – покрыто грязью около 30% площади; средняя – покрыто грязью около 50% площади; сильная – по-

крыто грязью около 80% площади; без капель грязи с полным покрытием стекла остатками загрязнения (симуляция некачественной очистки стекла).

Перед началом испытаний модуль подключается к системе электропитания. Камеры устанавливаются на необходимом расстоянии перед стеклом, проверяется уровень заряда каждой камеры или подключение к электросети. Проводится поиск объекта через стекло, не подвергшееся воздействию загрязнения или повреждению (0% загрязненности). Затем наносятся повреждения и загрязнения на площадь до 30, до 50 и до 80% поверхности стекла и проводится поиск объекта. Данные сравниваются (рис. 2, таблица) и формируется понимание, при каком уровне загрязнения и повреждения возможно использовать камеры для замера коров.

Результаты и обсуждение. Определение проводилось стереопарой 1/3-Inch CMOS OV4689 (4 Мп). Было выбрано определение рта, который можно считать аналогом поиска сосков на вымени и/или определенных точек на туловище, так как цвет искомого объекта сочетается с остальной поверхностью кожных покровов.



Загрязненность 30% Загрязненность 80% Некачественная очистка

Рис. 2. Изображения при разной загрязненности стекла
Fig. 2. Images with varying levels of protective glass contamination

Результаты, представленные в таблице, демонстрируют в каких условиях загрязненности нейросеть перестанет определять объекты на изображении (П и Л – правая и левая камера оптопары). Данные по замерам при отсутствии загрязнения в таблицу не вносились, так как определение происходило в штатном режиме.

Система определения животных будет стабильно работать до загрязнения 30% поверхности стекла включительно. При 50% загрязнения и некачественной очистке стекла возможность проведения замеров снижается в 1,625 раза, а при 80% камера неспособна определить объект и качественный сбор данных невозможен. При мутном стекле система работает нестабильно.

Вероятность определения камер при загрязнении оградительного стекла и разном освещении Probabilistic object recognition under varied levels of protective glass contamination and lighting conditions								
Уровень загрязненности	Дневной свет		Общий свет		Лампа на полу		Общий свет и лампа на полу	
	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л
30%	0,78	0,78	0,74	0,74	0,67	0,61	0,62	0,76
50%	0,59	0,74	0,62	0,52	–	–	0,46	–
80%	–	–	–	–	–	–	–	–
Мутное	0,78	0,76	0,46	0,54	–	–	–	0,49

Наиболее подходящим для определения объекта сквозь стекло является освещение дневным светом без дополнительного источника и совместно с общим включенным светом. Вариант с напольной лампой менее пригоден, объект определяется только при малом загрязнении.

Исследована ударная прочность ограждения из термополимера путем нанесения повреждений рогом разной силы и частоты. Установлено, что полиэтилентерефталат устойчив к такому механическому воздействию. Могут появиться царапины, поддающиеся шлифовке, после затирания качество приближается к исходному значению. Наблюдалось небольшое повреждение материала при высокой температуре.

Выводы. Установлена возможность определения объекта камерой при загрязнении до 50% включительно поверхности стекла и после его некачественной очистки. Наиболее точное определение при загрязнении до 30% включительно. Качество изображения выше на 2,6-38% в зависимости от загрязнения и типа освещения. При высокой степени загрязнения (80%) нет возможности определения объекта.

Наиболее подходящим при определении объекта сквозь стекло является дневной свет без дополнительного источника или дневной совместно с общим светом в помещении. Качество определения по сравнению с другими типом освещения при 30% загрязнения выше на 6-21%.

Использование лампы на полу и дневного света позволяет определить объект только при загрязнении до 30%, что на 75% хуже по сравнению с другими типами освещения для определения.

При использовании общего света и лампы на полу с дневным светом возможно определение при загрязненности 30, 50% и некачественной очистки, но возможна некорректная работа одной из двух камер (невозможность определения).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
2. 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.
3. Королев В.А., Башилов А.М. Видеоцифровое системно-метрическое управление агротехнологическими процессами // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. N4(48). С. 68-75.
4. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K. et al. Animal welfare management in a digital world. *Animals*. 2020. N10. 1779. doi.org/10.3390/ani10101779.
5. Martins B.M., Mendes A.L.C., Silva L.F. et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science*. 2020. Vol. 236. 104054. doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054.
6. Zhao Y., Xiao Q., Li J., et al. Review on image-based animals weight weighing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. N215. 108456. doi.org/10.1016/j.compag.2023.108456.
7. Bi Ye, Campos L.M., Wang J., Yu H. Depth video data-enabled predictions of longitudinal dairy cow body weight using thresholding and Mask R-CNN algorithms. *Smart Agricultural Technology*. 2023. N6. 100352. doi.org/10.1016/j.atech.2023.100352.
8. Li J., Ma W., Bai Q. et al. A posture-based measurement adjustment method for improving the accuracy of beef cattle body size measurement based on point cloud data. *Biosystems Engineering*. 2023. N230. С. 171-190. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.04.014.
9. Zhao K.X., Shelley A.N., Lau D.L. et al. Automatic body condition scoring system for dairy cows based on depth-image analysis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020. N13(4): 45–54. DOI: 10.25165/j.ijabe.20201304.5655.
10. Yurochka S.S., Dovlatov I.M., Pavkin D.Yu. et al. Technology of automatic evaluation of dairy herd fatness. *Agriculture*. 2023. N13(7). 1363. DOI: 10.3390/agriculture13071363.
11. Tsai D.M., Huang C.Y. A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014. 104. 25-31. DOI: 10.1016/j.compag.2014.03.003
12. Xue T., Qiao Y., Kong H. et al. One-shot learning-based animal video segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. DOI: 10.1109/TII.2021.3117020.
13. Jones J.W., Antle J.M., Basso B. et al. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*. 2017. 155. 269-288. DOI: 10.1016/j.agry.2016.09.021
14. Charfeddine N., Pérez-Cabal M.A. Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2017. (1):653-665. doi:10.3168/jds.2016-11434.
15. Qiao Y., Kong H., Clark C. et al. Intelligent perception-based cattle lameness detection and behaviour recognition: A Review. *Animals*. 2021. 11. 3033. https://doi.org/10.3390/ani11113033.
16. Дунин И.М., Павлов М.Б., Белик Н.И., Сердюков И.Г. Использование селекционных индексов в тонкорунном овцеводстве. *Зоотехния*. 2020. N2. С. 30-32. DOI: 10.25708/ZT.2020.33.25.010.
17. Bahlo C., Dahlhaus P., Thompson H., Trotter M. The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 156. 459-466. DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.007

REFERENCES

1. Tsench Yu.S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural machinery and technologies*. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13. EDN: WLFWZG.
2. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural machinery and technologies*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10. EDN: YFRZDV.
3. Bashilov A.M., Korolev V.A. Video-digital system-metric management of agrotechnological processes. *Don agrarian science bulletin*. 2019. N4(48). 68-75 (In Russian).
4. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K., et al. Animal welfare management in a digital world. *Animals*. 2020. N10. 1779 (In English). doi.org/10.3390/ani10101779.
5. Martins B.M., Mendes A.L.C., Silva L.F., et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. *Livestock Science*. 2020. Vol. 236. 104054 (In English). doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054.
6. Zhao Y., Xiao Q., Li J., et al. Review on image-based animals weight weighing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. N215. 108456 (In English). doi.org/10.1016/j.compag.2023.108456.
7. Bi Ye, Campos L.M., Wang J., Yu H. Depth video data-enabled predictions of longitudinal dairy cow body weight using thresholding and Mask R-CNN algorithms. *Smart Agricultural Technology*. 2023. N6. 100352 (In English). doi.org/10.1016/j.atech.2023.100352.

8. Li J., Ma W., Bai Q., et al. A posture-based measurement adjustment method for improving the accuracy of beef cattle body size measurement based on point cloud data. *Biosystems Engineering*. 2023. N230. 171-190 (In English). DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.04.014.
9. Zhao K.X., Shelley A.N., Lau D.L. et al. Automatic body condition scoring system for dairy cows based on depth-image analysis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020. N13(4). 45-54 (In English). DOI: 10.25165/j.ijabe.20201304.5655.
10. Yurochka S.S., Dovlatov I.M., Pavkin D.Yu. et al. Technology of automatic evaluation of dairy herd fatness. *Agriculture*. 2023. N13(7). 1363 (In English). DOI: 10.3390/agriculture13071363.
11. Tsai D.M., Huang C.Y. A motion and image analysis method for automatic detection of estrus and mating behavior in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014. 104. 25-31 (In English). DOI:10.1016/j.compag.2014.03.003.
12. Xue T., Qiao Y., Kong H., et al. One-shot learning-based animal video segmentation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. DOI: 10.1109/TII.2021.3117020.
13. Jones J.W., Antle J.M., Basso B. et al. Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*. 2017. 155. 269-288 (In English). DOI: 10.1016/j.agsy.2016.09.021.
14. Charfeddine N., Pérez-Cabal M.A. Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2017. (1). 653-665 (In English). doi:10.3168/jds.2016-11434.
15. Qiao Y., Kong H., Clark C. et al. Intelligent perception-based cattle lameness detection and behaviour recognition: A Review. *Animals*. 2021. 11. 3033 (In English). <https://doi.org/10.3390/ani11113033>.
16. Dunin I.M., Pavlov M.B., Belik N.I., Serdyukov I.G. Use of selection indices in thin-rune sheep farming. *Zootechniya*. 2020. N2. 30-32 (In Russian). DOI: 10.25708/ZT.2020.33.25.010. EDN: YPJZV.
17. Bahlo C., Dahlhaus P., Thompson H., Trotter M. The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 156. 459-466 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.007.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Юрочка С.С. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, проведение экспериментального исследования, формирование текста;
 Довлатов И.М. – обработка результатов исследования, доработка текста и общих выводов;
 Хакимов А.Р. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста;
 Комков И.В. – проведение экспериментального исследования, формирование текста;
 Павкин Д.Ю. – формулирование основных направлений исследования;
 Базаев С.О. – литературный анализ, обработка результатов исследования.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Yurochka S.S. – scientific supervision, formulating the main research concepts, conducting the experimental research, working on the manuscript;
 Dovlatov I.M. – research result processing, finalizing the manuscript and general conclusions;
 Khakimov A.R. – literature review, research result processing, working on the manuscript;
 Komkov I.V. – conducting the experimental study, working on the manuscript;
 Pavkin D.Yu. – formulating the main research concepts;
 Bazaev S.O. – literature review, research result 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

10.01.2024
 29.02.2024



Адаптированные технические средства и технология молочного животноводства в условиях альпийских пастбищ

Альберт Баширович Барагунов,

доктор технических наук, доцент,

e-mail: baragun_albert@mail.ru

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, г. Нальчик, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что содержание дойного стада на экологически чистых горных пастбищах позволяет получать молоко-сырье с меньшими затратами. Для сохранения нативных свойств молока и производства высококачественной продукции необходима своевременная первичная обработка молока, прежде всего охлаждение и хранение при низкой температуре. *(Цель исследования)* Обоснование технологии содержания молочного поголовья крупного рогатого скота и создание технических средств доения и первичной обработки молока в условиях горных пастбищ. *(Материалы и методы)* Разработаны и изготовлены опытные образцы доильных аппаратов и установки охлаждения молока от естественного источника холода. Испытания проводились в хозяйствах Кабардино-Балкарской Республики. С учетом природно-климатических условий содержания молочного скота на горных пастбищах, разработанных технических средств доения и первичной переработки сырья разработана технология производства питьевого молока. Технология включает основные операции кормления и ухода за молочным стадом, доения, первичной переработки и хранения питьевого коровьего молока. *(Результаты и обсуждение)* Технология позволит увеличить количество сырого молока на 10 процентов, массовую долю жира на 3 процентов, снизить на 40 процентов заболеваемость коров маститом, вызываемым машинным доением обычными для равнинных условий установками; на 15 процентов сократить энергозатраты на привод доильной техники и холодильного оборудования, повысить производительность труда. Технические и технологические разработки обеспечены патентной защитой. *(Выводы)* Развитие молочного животноводства в горных регионах, богатых естественно растущими, экологически чистыми пастбищными угодьями, является экономически привлекательным направлением для производства отечественной высококачественной молочной продукции. Сравнительные лабораторные и производственно-эксплуатационные испытания подтвердили целесообразность использования предложенных технологических приемов и технических средств.

Ключевые слова: молочное животноводство, горные пастбища, доение коров, первичная обработка, охлаждение, хранение, питьевое молоко.

■ **Для цитирования:** Барагунов А.Б. Адаптированные технические средства и технология молочного животноводства в условиях альпийских пастбищ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 108-114. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-108-114. EDN: UJKWRN.

Scientific article

Adapted Machinery and Technology for Alpine Pasture Dairy Farming

Albert B. Baragunov,

Dr.Sc.(Eng.), associate professor,

e-mail: baragun_albert@mail.ru

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that grazing a dairy herd on ecologically pristine mountain pastures facilitates the production of raw milk at reduced costs. Preserving the native properties of milk and achieving superior product quality necessitates prompt milk processing, particularly through efficient cooling and storage at low temperatures. *(Research purpose)* The primary objective of this research is to substantiate the methodology for dairy cattle management and to develop technological solutions for milking and primary milk processing in mountainous pastures. *(Materials and methods)* Prototypes of milking machines and cooling equipment utilizing natural cold sources were developed and produced. Trials were conducted on farms in the Kabardino-Balkarian Republic. A methodology to produce consumable milk has been developed considering the natural and climatic conditions inherent in grazing dairy cattle on mountain pastures and existing machinery for milking and primary processing of raw materials. The

technology includes the basic operations such as dairy herd feeding and management, milking, primary milk processing and storage of drinking cow's milk. (*Results and discussion*) The technology is poised to enhance milk production by 10 percent, elevate the fat content by 3 percent, and decrease the incidence of mastitis in cows attributed to conventional machine milking tailored for lowland conditions by 40 percent. Moreover, it promises a 15 percent reduction in energy consumption for operating milking and refrigeration equipment as well as an increase in labor productivity. These technical and technological advancements are fortified with patent protection. (*Conclusions*) The development of dairy farming in mountainous regions, rich in naturally growing, ecologically pristine pasture lands, is an economically attractive direction to produce premium domestic dairy products. Comparative analyses conducted through laboratory assessments and field trials substantiate the viability of employing the proposed technological methodologies and machinery.

Keywords: dairy farming, mountain pastures, milking cows, primary processing, cooling, storage, drinking milk.

For citation: Baragunov A. B. Adapted machinery and technology for Alpine pasture dairy farming. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 108-114. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-108-114. EDN: UJKWRN.

Обеспечение внутреннего рынка качественными молочными продуктами является актуальной задачей отечественного агропромышленного комплекса. На мировом рынке продукты из молока, полученного на горных пастбищах, пользуются особым спросом (Барагунов А.Б., Краснова А.Ю. Механизация доения и первичной обработки молока в условиях горных хозяйств. Нальчик: КБГАУ, 2017. 232 с.). Такая продукция считается более натуральной за счет высоких экологических критериев в процессе производства [1]. К альпийским лугам относятся пастбища, расположенные на высоте 1000 м и более над уровнем моря, с богатым естественным разнотравным кормом. На площади 100 м² могут произрастать до 50 видов цветковых растений (Baragunov B.Ya., Baragunov A.B. Energy-saving means of mechanizing the collection of excrement of cows. Moscow: GNU VIESH. 2004. 159-162). В сочетании с продуктивностью альпы, достигающей 40 ц/га сухой массы, свежий корм в условиях благоприятной окружающей среды стимулирует лактацию коров [2].

Вместе с тем, на горных выпасах применение технических средств доения и обработки молока ограничено [3, 4]. При использовании обычных для равнинных пастбищ доильных установок вакуумное воздействие на отбор молока происходит с существенными отклонениями. Из-за этого травмируется вымя коровы, что провоцирует заболевание маститом и может привести к досрочной выбраковке продуктивного животного. Расположение горных пастбищ в труднодоступных и удаленных от энергетической инфраструктуры местах значительно увеличивает затраты на производство молочной продукции [5].

Цель исследования: создание приемлемых технических средств доения и первичной обработки молока, адаптация технологии к условиям горных пастбищ.

Материалы и методы. К основным техническим средствам производства молока на альпийских пастбищах относятся доильные установки, представля-

ющие собой навесной доильный аппарат, подключенный к вакуумной линии, и работающую от компрессора холодильную камеру. Наиболее широко применяются на пастбищах установки УДС-3 различных модификаций [6].

Вместе с тем доильные установки, распространенные на низинных территориях, на высокогорье не обеспечивают необходимый уровень вакуума [7]. Режим работы вакуумного насоса при сниженном атмосферном давлении характеризуется большим разрежением [8]:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} - h_{\text{вак}},$$

где $P_{\text{абс}}$, $P_{\text{бар}}$ и $h_{\text{вак}}$ – абсолютное, барометрическое и вакуумметрическое давление, кПа.

Барометрическое давление $P_{\text{бар}}$ оказывает прямое влияние на работу вакуумного пульсатора [9, 10]. Цикличность его работы задается частотой пульсации n (с⁻¹) чередования воздействия и отсутствия вакуумметрического давления $h_{\text{вак}}$ в замкнутой системе, образуемой вакуумными шлангами, коллектором молока и прикрепленными к вымени коровы доильными стаканами. Время рабочего такта t_1 и такта отдыха (разгрузки) t_2 , составляющих один цикл $t_{\text{ц}}$ (с), обратно пропорциональный частоте пульсов n [8]:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2, \quad n = 1/(t_1 + t_2) = 1/t_{\text{ц}}, \text{ с}^{-1}.$$

В условиях альпы продолжительность рабочего такта существенно изменяется с увеличением высоты пастбища над уровнем моря. Для поддержания стабильной работы вакуумной системы с заданными временными параметрами разработан метод, обеспечивающий устойчивую частоту пульсаций разрежения (рис. 1, табл. 1).

Устойчивую работу пульсатора можно обеспечить несколькими способами (рис. 2): изменяя объем управляющей камеры пульсатора с использованием вкладышей, регулирующей крышки (Патент RU2737284) или вакуумного сильфона (Патент RU2111654).

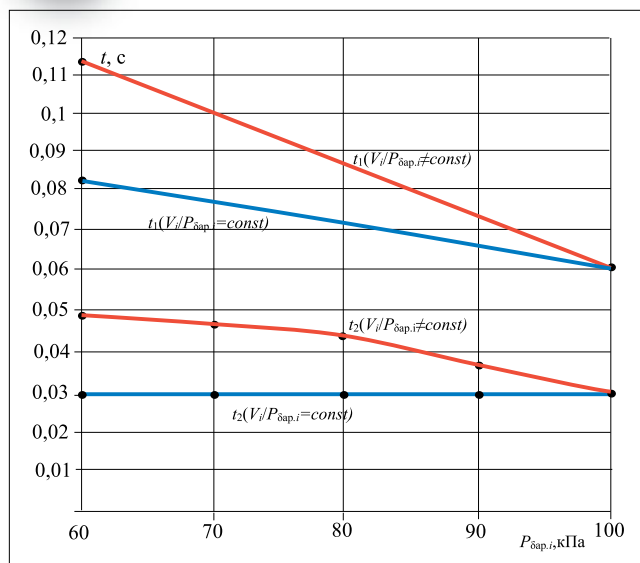


Рис. 1. Продолжительность тактов работы t_1 и разгрузки t_2 доильного аппарата при изменении атмосферного давления: $V_i/P_{\text{бар.кПа}} \neq \text{const}$ и $V_i/P_{\text{бар.кПа}} = \text{const}$, V_i – объем управляющей камеры пульсатора, м^3

Fig. 1. Operation t_1 and unloading t_2 cycles duration of milking machines under variable atmospheric pressure: $V_i/P_{\text{бар.кПа}} \neq \text{const}$ and $V_i/P_{\text{бар.кПа}} = \text{const}$, V_i – the volume of pulsator control chamber, m^3

Объем вкладыша

$$\Delta V_i = (V_0/P_{\text{бар.кПа}}) \cdot \Delta P_{\text{бар.кПа}}$$

В рабочем такте доения оказывается раздражающее воздействие на ткани вымени, что повышает вероятность возникновения маститных заболеваний при отклонении от ветеринарных норм по уходу за дойным стадом [9, 10]. При исследовании влияния вакуумметрического давления на вымя коров выявлено, что увеличение длительности рабочего и холостого тактов провоцирует воспаление сосков [11, 12]. Предлагаемый метод стабилизации частоты пульсаций позволяет минимизировать травматизм коров при машинном доении, состояние здо-

ровья и продуктивность животных.

Кроме этого разработаны доильные стаканы, имитирующие механическое воздействие ротового аппарата теленка в процессе выведения молока (патенты RU2216932C2, RU2625658C2, RU2719750C1). Использование таких стаканов обеспечивает щадящий отбор молока за счет изменения площади выжимающего устройства под размер сосков, и коровы лучше адаптируются к машинному доению (рис. 3).

При перемещении направляющей с седловидным вырезом вдоль оси симметрии доильного стакана к зоне цилиндрического действия увеличивается захват более коротких сосков (до 4 см). Такая регулировка выжимающего устройства предложена для использования в технологии производства питьевого молока в условиях альпийских пастбищ.

При сравнении результатов использования доильного аппарата предлагаемой конструкции АДВ-Ф-1А и обычно применяемого АДУ-1-03 установлено повышение качества молока до I группы чистоты, снизилась заболеваемость коров субклиническим маститом, среднесуточный удой от одной коровы повысился на 2%, увеличилась средняя массовая доля жира на 0,35%.

Сырое молоко до передачи на переработку должно храниться в охлажденном виде (при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ согласно ТР ТС 033/2013) [13, 14]. В данном случае предлагается использовать воду ледниковых рек и горных ручьев (Патент RU2788641). Для этого вблизи горной реки монтируется охлаждающая установка.

Свежесцеженное молоко собирается в резервуар, помещенный в емкость, в которую через патрубок самотеком поступает проточная холодная вода из искусственного речного рукава. Вода, омывая резервуар, охлаждает через его стенку молоко, и далее по направляющей льется на водяное колесо с лопастями. Вращение колеса через передаточный механизм сообщается мешалке. Температура молока контролируется по показаниям термометра.

Таблица 1								Table 1
Частота пульсаций n , соответствующая отношению объема управляющей камеры пульсатора V_i к атмосферному давлению $P_{\text{бар}i}$ PULSATION FREQUENCY (n) AS A RATIO OF PULSATOR CONTROL CHAMBER VOLUME (V_i) TO ATMOSPHERIC PRESSURE ($P_{\text{бар}i}$)								
№	$V_i, \times 10^{-6}, \text{ м}^3$	Объем вкладыша $\Delta V_i, \text{ см}^3$	$P_{\text{бар},i}, \text{ кПа}$	$V_i/P_{\text{бар},i}, (\text{ м}^4/\text{ с}^2)/\text{ кг}$	$t_{1i}, \text{ с}$	$t_{2i}, \text{ с}$	$n = 1/(t_{1i}+t_{2i}), \text{ с}^{-1}$	Абсолютное давление $P_{\text{абс}}, \text{ кПа}$
3	24,48	6,12	80,0	0,306	0,70	0,27	1,03	30
4	21,42	9,18	70,0	0,306	0,81	0,278	0,91	20
5	18,36	12,24	60,0	0,306	0,73	0,286	0,98	10
6	$V_0=30,6^{**}$	$\Delta V_0=0$	100,0	0,306**	0,610	0,264	1,1	50
7	$V_0=30,6$		90,0	0,340	0,70	0,30	1,0	40
8	$V_0=30,6$		80,0	0,383	0,78	0,34	0,88	30
9	$V_0=30,6$		70,0	0,437	1,05	0,40	0,689	20
10	$V_0=30,6$		60,0	0,510	1,12	0,47	0,62	10
<i>*Вариант 1: $V_0/P_{\text{бар}i} = 0,306 = const; n \approx 1,1-0,98 \text{ с}^{-1} \approx const.$</i>								
<i>**Вариант 2: $V_0 = 30,6 \text{ см}^3 = const; P_{\text{бар}i} = 100-60 \text{ кПа}; V_0/P_{\text{бар}i} \neq const, n = 1,1-0,62 \text{ с}^{-1} \neq const.$</i>								

*Вариант 1: $V_0/P_{\text{бар.кПа}} = 0,306 = \text{const}$; $n \approx 1,1-0,98 \text{ с}^{-1} \approx \text{const}$.

**Вариант 2: $V_0 = 30,6 \text{ см}^3 = \text{const}$; $P_{\text{бар.кПа}} = 100-60 \text{ кПа}$; $V_0/P_{\text{бар.кПа}} \neq \text{const}$, $n = 1,1-0,62 \text{ с}^{-1} \neq \text{const}$.

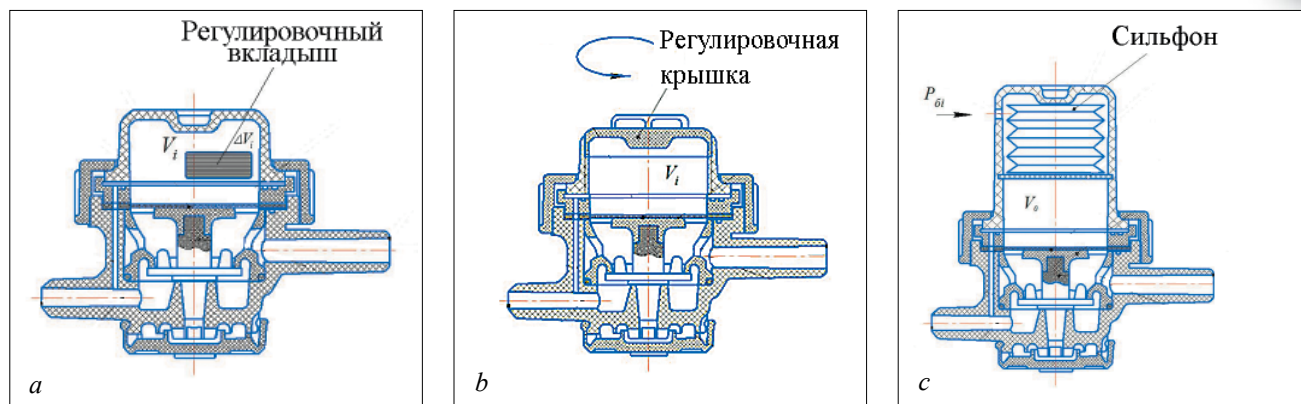


Рис. 2. Пневматические пульсаторы: а – с регулировочным вкладышем; б – с регулируемой управляющей камерой (патент RU2737284); в – с автоматическим поддержанием заданной частоты пульсаций (патент RU2111654)
Fig. 2. Pneumatic pulsators: а – with an adjusting insert; б – with an adjustable control chamber (Patent RU2737284); в – with automatic maintenance of a given pulsation frequency (Patent RU2111654)

Молоко в охлажденном виде хранится в резервуаре до передачи на дальнейшую переработку. Установка монтируется на салазках, искусственный речной рукав устанавливают с незначительным уклоном (3° и более).

Разработаны и изготовлены опытные образцы доильных аппаратов для коров и установки охлаждения молока (обеспечены патентной защитой). Проведены их лабораторные и производственно-эксплуатационные испытания в условиях горных пастбищ. Для обеспечения стабильной работы охлаждающей установки и поддержания температурного режима в пределах 4°C рекомендуется обустроить доильную площадку, совмещенную с блоком

первичной обработки и хранения молока, вблизи реки или ручья.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. С учетом природно-климатических особенностей содержания дойного стада предлагаемая технология производства питьевого молока с его охлаждением испытана в реальных условиях. Технология включает следующие операционные блоки:

- пастбищное кормление;
- уход за коровами;
- машинное доение;
- первичная обработка и хранение молока;
- утилизация продуктов жизнедеятельности поголовья.

Пастбищное кормление в горных условиях является общепризнанным благоприятствующим условием для получения надлежащего питания коров, совмещенного с качественным моционом, что однозначно повышает продуктивность животных [15]. Также следует отметить достаточно благоприятную экологическую составляющую альпийских пастбищ, как высококачественную и экологически безопасную кормовую базу [16]. Данный показатель существенно влияет на продуктивность молочного поголовья. Коров после утренней дойки перегоняют на пастбище, исключая повторное прохождения территории для равномерного использования кормовой базы.

Пастбищная территория условно делится на зоны выпаса [17]. В течение четырехнедельного восстановления травяного покрова пастух при необходимости может снова выводить стадо по зоне с восстановившимся растительным покровом. Тем самым достигается бережное использование пастбищного потенциала при полноценном кормлении животных. Эксплуатация альпы для выпаса дойных коров осуществляется от середины апреля до середины октября ориентировочно по среднестатистическим погодным показателям.

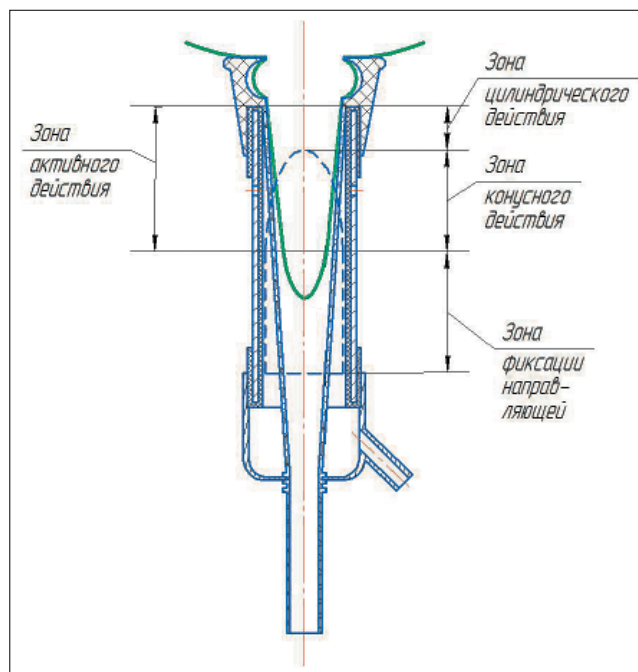


Рис. 3. Доильный стакан АДВ.01.000.А (патенты RU2216932, RU2625658, RU 2719750)

Fig. 3. Milking cup ADV.01.000.A (Patent RU 2216932, Patent RU 2625658, Patent RU 2719750)

После завершения пастбищного сезона проводится осмотр территории и при необходимости покос (например, использование МТЗ 1221 + КСФ-2,1), подкормка почвы обеззараженными органическими удобрениями (МТЗ1221 + БС-4).

Результаты сравнительного испытания модифицированного доильного аппарата и в целом технологии в реальных условиях альпийского пастбища приведены в [таблице 2](#).

Водоснабжение осуществляется от расположенных вблизи рек и ручьев с резервированием воды в напорных емкостях. Накопительные емкости размещают таким образом, чтобы произвести забор воды самотеком, используя рельеф горной местности. Для исключения попадания мелких частиц песка и прочих примесей предусматриваются сеточные фильтры и промежуточные емкости-уловители возможных инородных твердых фракций в ледниковых водах рек. Перед размещением доильного центра в начале монтажа оборудования водный источник обследуется бригадой специалистов на пригодность к использованию на пищевые и технические цели по показателям химической и биологической безопасности. После этого подключается забор воды для потребителей пастбищно-доильного центра.

Схема размещения основных участков пастбищно-доильного центра на 100 голов КРС представлена на [рисунке 4](#).

При подготовке к доению коров подгоняют на преддоильную площадку, где находится дополнительный корм в кормушках и вода в автопоилках АГУ-4. Доильная установка УДС-3Б модернизируется доильными аппаратами АДВ-Ф-1А, которые оборудованы выжимающе-высасывающими стаканами с пульсаторами, регулируемые под атмосферное давление в горах. Доение осуществляется в переносные ведра или молокопровод при поголовье более 50 коров. Насосом собранное молоко подается в охлаждающую установку, подсоединенную к руслу ледниковой реки или ручья.

Вакуумный насос доильного аппарата работает от дизельной станции, совмещенной по возможности с энергоустановкой на основе возобновляемых источников (био-, гидро- или ветрового).

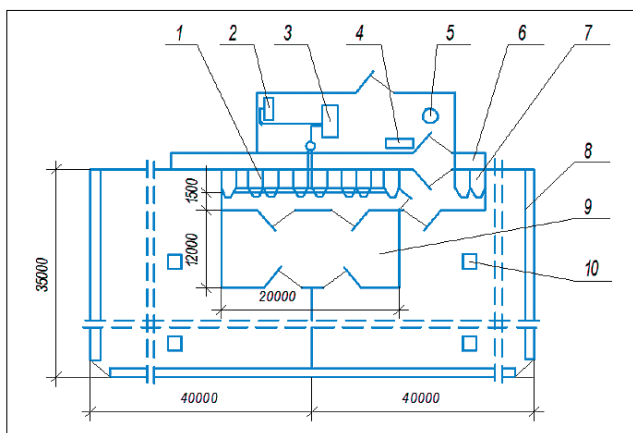


Рис. 4. План пастбищно-доильного центра на 100 коров: 1 – доильная установка УДС-3Б; 2 – вакуумный насос; 3 – молочный резервуар; 4 – моечная ванна; 5 – электро-гелиоводонагреватель; 6 – пост ветеринарного врача; 7 – станки для искусственного осеменения коров; 8 – кормушка; 9 – преддоильная площадка; 10 – автопоилка АГК-4

Fig. 4. Layout of a pasture-milking center designed for 100 cows: 1 – UDS-3B milking machine; 2 – vacuum pump; 3 – milk tank; 4 – washing bath; 5 – electric solar water heater; 6 – veterinarian's post; 7 – artificial insemination equipment; 8 – feeder; 9 – pre-milking area; 10 – AGK-4 automatic drinker

Доставка корма и его раздача в кормушки осуществляются имеющимися в хозяйстве техническими средствами (МТЗ-1221 + бункерный прицеп). При необходимости возможен дополнительный забор воды механизированным способом (МТЗ-1221 + ПАП-10А). В ночной период скот содержится в стойлах под навесами с оборудованными кормушками. Подкормку доставляют механизированным способом (МТЗ-1221 + КИР-1,5 + КТУ-10А). Подстилка доставляется и разбрасывается спецсредствами (МТЗ-1221 + 2ПТС-4).

При стойловом содержании животных в ночное время используются специальные навозосборочные устройства (Патент RU2226050). Они позволяют собрать свежий навоз без посторонних примесей для дальнейшей утилизации: разделения на фракции, получение биогаза или использования на

Таблица 2

Table 2

Эксплуатационные характеристики доильных аппаратов / OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MILKING MACHINES

Показатель	Согласно ТУ на УДС-3Б	АДВ-Ф-1А модифицированный	АДУ-1-03 серийный
Число аппаратов	8	8	8
Число дояров	2	2	2
Число коров, обслуживаемых установкой за 1 ч основного времени	Не менее 55	56	48
Число коров, обслуживаемых дояром за 1 ч основного времени	28	28	24
Средняя жирность молока, %	3,6	3,65	3,3

пастбищных угодьях в виде органического удобрения, а излишки реализуются сторонним хозяйствам.

Молоко с пастбищно-доильного центра доставляется на автомобиле с цистерной на молокоприемные пункты и перерабатывающие заводы. Регулярно проводят отбор проб молока. При сдаче суточного удоя в приемные пункты проверяются органолептические показатели.

Результаты производственных испытаний технических средств и технологической линии производства коровьего питьевого молока в условиях альпийских пастбищ показали преимущества относительно серийных существующих технических средств доения и первичной обработки молока, что наглядно прослеживается в сводных результатах эксплуатационных показателей.

Выводы. Технология производства коровьего питьевого молока в условиях альпийских пастбищ позволит за счет полноценного кормления и экологических условий повысить качество молока, увеличить его объем на 10% и жирность на 3%; снизить риск заболевания коров маститом при использовании более щадящего доильного оборудования на 40%; снизить потребление энергии на привод доильной техники и холодильного оборудования на 15%, соответственно повысить производительность труда. Эти преимущества подтверждены в ходе хозяйственных испытаний при выпасе коров на альпийских лугах на территории Кабардино-Балкарской Республики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснов И.Н., Мирошникова В.В. Организация машинного доения коров на модульных фермах // *Сельский механизатор*. 2017. №9. С. 18-19. EDN: ZJAKWD.
2. Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 27-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.
3. Baragunov A.B., Savvateeva I.A., Kushaev S.H. et al. Innovative livestock production technology. *Earth and Environmental Science*. 2020. 32012. DOI: 10.1088/1755-1315/421/3/032012. EDN: HGDOWA.
4. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Ценч Ю.С. Комплекс машин Агропродмаш для обработки залежных земель // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №2(31). С. 40-47. EDN: RXFMCP.
5. Кирсанов В.В. Структурно-функциональные модели построения автоматизированных и роботизированных молочных ферм нового поколения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №1. С. 4-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-4-9.
6. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V. Roles of milking motives in cows' milk discharging. *Eurasian Journal of Biosciences*. 2018. Vol. 12. 83-87.
7. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V., Tolstoukhova T.N. Energy saving in milk pasteurization processes hydrodynamic heaters use. *Plant Archives*. 2018. Vol. 18. №2. 2593-2599.
8. Герасимова О.А. Повышение эффективности производства молока при пастбищном содержании коров // *Известия Великолукской ГСХА*. 2017. №1. С. 34-40.
9. Краснова А.Ю., Краснов Ю.И., Краснов И.Н., Мирошникова В.В. Динамика пневмопривода устройств для массажа вымени животных // *Аграрный научный журнал*. 2021. №8. С. 95-99. DOI: 10.28983/asjy2021i8pp95-99.
10. Павкин Д.Ю., Хакимов А.Р., Шкирин А.В. и др. Моделирование влияния проточного устройства анализа качества молока на поток в доильной установке // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 70-75. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-70-75. EDN: QOUWDX.
11. Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаева О.В., Китаев Ю.А. Определение конструктивно-режимных параметров мобильного агрегата для доения коров и оценка его эффективности // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2020. №2(26). С. 105-128. EDN: NSKEJP.
12. Ужик В.Ф., Кузьмина О.С., Китаева О.В., Некипелов С.И. Переносной манипулятор с почтврвтным управлением режимом доения коров // *Вестник ВНИИМЖ*. 2019. №4 (36). С. 51-56.
13. Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Технология и агрегат для восстановления экологического состояния горных лугов и пастбищ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №2. С. 20-27. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-20-27. EDN: KQMGLX.
14. Коршунов А.Б. Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоемкость процесса охлаждения молока // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. 39-44. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44.
15. Курашев З.Х., Гукеев В.М., Гетоков О.О. и др. Оценка адаптивности голландского племенного голштинского скота к условиям степной зоны Центрального Предкавказья // *E3S Web*. 2021. Vol. 254. 08011.
16. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V. Milking incentives role in secretion of cows milk. *Journal of Pharmacy Research*. 2017. Vol. 11. №10. 1247-1251. EDN: XZWGTB.
17. Барагунов А.Б. Альтернативная технология молочного животноводства в горных условиях // *Вестник НГИЭИ*. 2021. №10 (125). 7-16. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-10-7-16.

REFERENCES

1. Krasnov I.N., Miroshnikova V.V. Organization of machine milking of cows on modular farms. Rural machine operator. 2017. N 9. 18-19 (In Russian). EDN: ZJAKWD.
2. Kirsanov V.V., Tsoi Yu.A. Trends in the development of biotechnical systems in animal husbandry. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N3. 27-32 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.
3. Baragunov A.B., Savvateeva I.A., Kushaev S.H., et al. Innovative livestock production technology. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2020. S. (In English).
4. Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Tsench Yu.S. Agromash machinery complex for processing of fallow land. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 40-47 (In Russian). EDN: RXFMCP.
5. Kirsanov V.V. Structural and functional models for constructing automated and robotic dairy farms of a new generation. *Agricultural machinery and technologies*. 2022. Vol. 16. N1. 4-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-4-9.
6. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V. Roles of milking motives in cows' milk discharging. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2018. Vol. 12. 83-87 (In English).
7. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V., Tolstoukhova T.N. Energy saving in milk pasteurization processes hydrodynamic heaters used. *Plant Archives*. 2018. Vol. 18. N2. 2593-2599 (In English).
8. Gerasimova O. A. Increasing the efficiency of milk production when cows are kept on pasture. *News of the Velikolukskaya State Agricultural Academy*. 2017. 34-40 (In Russian).
9. Krasnova A.Yu., Krasnov Yu.I., Krasnov I.N., Miroshnikova V.V. Dynamics of the pneumatic drive of devices for massaging the udder of animals. *Agrarian scientific journal*. 2021. N8. 95-99 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp95-99.
10. Pavkin D.Yu., Khakimov A.R., Shkirin A.V., et al. Modeling the influence of a flow-through device for analyzing milk quality on the flow in a milking machine. *Agricultural machinery and technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 70-75 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-70-75. EDN: QOUWDX.
11. Uzhik V.F., Nekipelov S.I., Kitaeva O.V., Kitaev Yu.A. Determination of design and operational parameters of a mobile unit for milking cows and assessment of its effectiveness. *Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects*. 2020. N2(26). 105-128 (In Russian).
12. Ujik V.F., Kuzmina O.S., Kitaeva O.V., Nekipelov S.I. Portable manipulator with a quarter controlled mode of milking cows. *Journal of VNIIMZH*. 2019. N4 (36). 51-56 (In Russian).
13. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Technology and unit for restoring the ecological state of mountain meadows and pastures. *Agricultural Machines and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 20-27 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-20-27. EDN: KQMGLX.
14. Korshunov A.B. The influence of energy-saving systems using natural cold on the energy intensity of the milk cooling process. *Agricultural machines and technologies*. 2020. Vol. 14. N3. 39-44 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44.
15. Kurashev Z.Kh., Gukezhev V.M., Getokov O.O. et al. Assessment of the adaptability of Dutch breeding Holstein cattle to the conditions of the steppe zone of the Central Ciscaucasia. *E3S Web*. 2021. Vol. 254. 08011 (In Russian).
16. Krasnov I.N., Krasnova A.Yu., Miroshnikova V.V. Milking incentives role in secretion of cows milk. *Journal of Pharmacy Research*. 2017. Vol. 11. N10. 1247-1251 (In English).
17. Baragunov A.B. Alternative technology for dairy farming in mountain conditions. *Bulletin of NGIEI*. 2021. N10(125). 7-16 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2021-10-7-16.

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

30.01.2024
12.03.2024

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 внутристрочные 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