

ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 16 N 4 2022

Vol. 16 N 4 2022

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL



4 2022



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЦЕНТР



Сельскохозяйственные машины и технологии

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(РОСКОМНАДЗОР)
Свидетельство ПИ № ФС77-68608
от 3 февраля 2017 г.

Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ для публика-
ции трудов соискателей ученых степе-
ней кандидата и доктора наук

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев,
Л.А. Горелова,
С.В. Гришуткина,
Р.М. Нурбагандова

Перевод – Светлана Сорокина

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

© ФГБУ ФНАЦ ВИМ, 2022

Отпечатано в ФГБУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 13.12.2022
Тираж 500 экз.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Яков Петрович Лобачевский (НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР)

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

Дорохов Алексей Семенович

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, директор Всероссий-
ского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Феде-
рация, 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

Жарылкасы 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 Ценч

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

Вячеслав Иванович Черноиванов

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

Роман Алексеевич Фандо

доктор исторических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки 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-THEORETICAL JOURNAL

The journal is registered by
Federal Agency for Supervision of
Legislation Observance of Mass
Communications Sphere and
Cultural Heritage Protection
Certificate ПИ No. ФЦ77-68608
from February, 3, 2017

**The Journal is included in the
list of peer-reviewed scientific
publications recommended
by the Higher Attestation
Commission for publishing the
research results from theses for
Ph.D. and Dr.Sc. degrees.**

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.,
Gorelova L.A.,
Grishutkina S.V.,
Nurbagandova R.M.
Translation into English –
Svetlana Sorokina

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

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

**Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science**

The format is 205 × 290 mm
The issue was submitted 13.12.2022
The circulation is 500 copies

[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; Director of the All-Russian Scientific and Research Institute of Livestock Mechanization, Podolsk, 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



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

- Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С.**
Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве 4

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Денисов В.А., Задорожный Р.Н., Романов И.В., Чумак Н.И., Шитов А.О.**
Триботехнические свойства материалов опор скольжения культиваторов 13

- Костомахин М.Н., Пестряков Е.В.**
Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов 19

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ САДОВОДСТВА

- Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко Л.А.**
Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов 26

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

- Славкина В.Э., Свиридов А.С., Арумугам Г., Гончарова Ю.А., Касимов Р.М.**
Разработка конструкции щелевого сельскохозяйственного распылителя и исследование его выходных параметров 34

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Тетерин В.С., Панферов Н.С., Пехнов С.А.**
Разработка диска для распределения твердых минеральных удобрений с регулируемой дозой внесения 38

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

- Федосов А.Ю., Меньших А.М.**
Внедрение искусственного интеллекта в растениеводство для оптимизации орошения 45
- Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М.**
Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ 54

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА

- Камбулов С.И., Рыков В.Б., Божко И.В., Подлесный Д.С.**
Методика инженерного расчета рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей 60
- Джибилов С.М., Гулуева Л.Р.**
Агрегат для щелевания деградированных горных лугов и пастбищ на базе мини-трактора 68

МОБИЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

- Иовлев Г.А., Побединский В.В., Голдина И.И.**
Сравнение эксплуатационных свойств китайских тракторов Zoomlion и YTO 74

SCIENTIFIC AND TECHNICAL POLICY

- Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S.**
Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production 4

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES

- Denisov V.A., Zadorozhnyi R.N., Romanov I.V., Chumak N.I., Shitov A.O.**
Tribotechnical properties of materials for cultivator sliding bearings 13

- Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V.**
Software package for remote diagnostics of agricultural machinery condition 19

GARDENING VEHICLES AND TECHNOLOGIES

- Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko L.A.**
Algorithm for calculating the parameters of a garden boom sprayer for applying pesticides 26

MACHINERY FOR PLANT GROWING

- Slavkina V.E., Sviridov A.S., Arumugam G., Goncharova Y.A., Kasimov R.M.**
Developing the design for a slotted agricultural sprayer and studying its output parameters 34

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- Teterin V.S., Panferov N.S., Pekhnov S.A.**
Development of a distributor disc for mineral fertilizers with variable application rate 38

DIGITAL TECHNOLOGIES. ARTIFICIAL INTELLIGENCE

- Fedosov A.Yu., Menshikh A.M.**
The implementation of artificial intelligence in agriculture to optimize irrigation 45
- Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Dovlatov I.M.**
Development of a modular system for digitalization of appraisal process 54

SOIL TILLAGE EQUIPMENT AND SOWING

- Kambulov S.I., Rykov V.B., Bozhko I.V., Podlesny D.S.**
Methodology for engineering calculation of the working body for continuous fallow field tillage 60
- Dzhibilov S.M., Gulueva L.R.**
Unit for splitting degraded mountain meadows and pastures based on a mini tractor 68

MOBILE ENERGY UNITS

- Iovlev G.A., Pobedinskiy V.V., Goldina I.I.**
Comparative analysis of Zoomlion и YTO Chinese tractors' operational properties 74

Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве

Яков Петрович Лобачевский,
академик РАН, доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

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

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что острая необходимость улучшения продовольственного снабжения населения страны, расширения спектра возделывания полевых культур обусловили задачу перехода от разработки отдельных машин к созданию Систем машин, то есть комплексов взаимно согласующихся технологий и технических средств. (*Цель исследования*) Установить принципы формирования Системы машин и технологий, отражающие состояние и развитие механизированных и автоматизированных процессов сельскохозяйственного производства в определенные периоды развития народного хозяйства страны. (*Материалы и методы*) Выявили, что для достижения этой цели необходимо было принципиально изменить подход к созданию новой техники: перейти от разрозненной разработки отдельных, не связанных между собой машин к созданию комплексов технических средств, гармонизированных по техническим и технологическим параметрам, для выполнения полных циклов работ по возделыванию широкого спектра сельхозкультур, то есть перейти к разработке Систем машин. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что в ходе реализации Систем машин в нашей стране созданы эффективные комплексы технических средств: скоростные пахотные и пропашные тракторы различных классов, самоходные зерноуборочные и кормоуборочные комбайны, другие важнейшие группы сельхозтехники. (*Выводы*) Доказали, что непрерывно развивающийся научно-технический потенциал обеспечил решение крупных народно-хозяйственных задач, в числе которых – создание Систем машин. Установили, что по мере эволюции Систем машин приоритет отдавали повышению надежности, безопасности, энерго- и ресурсосбережению, энергонасыщенности, расширению функциональности, мультипликативности, улучшению условий труда операторов, качества работы, унификации компонентов, дальнейшему увеличению производительности.

Ключевые слова: система машин и технологий, механизация и автоматизация сельского хозяйства, комплексы технических средств, гармонизированные параметры, тракторы и сельскохозяйственные машины, скоростная техника, научно-технический потенциал.

■ **Для цитирования:** 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*. 2021. Т. 16. №4. С. 4-12. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN SRZTLD.

Principles of Forming Machine and Technology Systems for Integrated Mechanization and Automation of Technological Processes in Crop Production

Yakov P. Lobachevskiy:
member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

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

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It is noted that the urgent need for improving the country's food supply, expanding the range of field crop cultivation led to the shift from the development of single machines to creating machine systems, that is, complexes of well-balanced, coordinated integrated technologies and technical means. (*Research purpose*) To determine the principles of forming a machine

and technology system, that reflect the state and development of mechanized and automated processes of agricultural production in certain periods of the country economy development. (*Materials and methods*) It is found out that for achieving this goal, it was necessary to fundamentally change the approach to creating new machines and equipment, to shift from the segmental development of single, unrelated machines to creating technical complexes, well-balanced and coordinated technically and technologically, and able to perform full cycles of work on cultivating a wide range of crops, in other words, to start creating Machine Systems. (*Results and discussion*) It is identified that during the implementation of the Machine Systems, there were created effective complexes of agricultural machinery in our country: high-speed arable and tilled tractors of various classes, self-propelled grain and forage harvesters, and other important types of agricultural machines. (*Conclusions*) It is proved that the continuously developing scientific and technical potential ensured the solution of major national economic problems, including the creation of Machine Systems. It is established that as the Machine Systems evolved, priority was given to improving reliability, safety, energy and resource saving, power/weight ratio, expanding functionality, multiplicativity, improving operators' working conditions, quality of work, unifying components, and further increasing productivity.

Keywords: machine and technology system, mechanization and automation of agriculture, complexes of technical means, coordinated parameters, tractors and agricultural machines, high-speed machinery, scientific and technical potential.

■ **For citation:** Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Printsipy formirovaniya system mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022.Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN SRZTLD.

В предвоенный период, до 40-х годов прошлого века, усилиями советских ученых и инженеров заложена научно-техническая основа создания сельскохозяйственной техники. В условиях ограниченных ресурсов в кратчайшие сроки были разработаны и поставлены на производство пахотные и пропашные тракторы, ключевые машины и оборудование для растениеводства и животноводства. Превалировал индивидуальный подход к конструированию отдельных машин, над созданием которых по своей инициативе или по заданиям правительства работали институты, конструкторские бюро и заводы. Но общая координация исследований и разработок отсутствовала. При создании машин не учитывались в полной мере региональные условия, особенности механизированных технологических процессов, не согласовывались взаимозависимые технологические параметры технических средств, что снижало эффективность эксплуатации машин, их производительность и качество работ. Острая необходимость улучшения продовольственного снабжения населения страны, расширения спектра возделывания полевых культур обусловили задачу перехода от разработки отдельных машин к созданию Систем машин, то есть комплексов взаимно согласующихся технологий и технических средств (Ценч Ю.С., 2021).

Цель исследования – установить принципы формирования Системы машин и технологий, отражающие состояние и развитие механизированных и автоматизированных процессов сельскохозяйственного производства в определенные периоды развития народного хозяйства страны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. После восстановления инфраструктуры народного хозяйства к середине 1950-х

годов начали стремительно развиваться все сферы жизнедеятельности страны. Стали очевидны запросы и требования общества к улучшению качества жизни во всех ее проявлениях. Резко повысились требования к продуктам питания – качеству и значительному расширению ассортимента, особенно к различным сортам мясных и молочных продуктов, овощей и фруктов. В связи с этим спектр возделываемых культур – овощных, масличных, кормовых, бахчевых, технических – необходимо было значительно расширять. Внедрение дополнительных культур требовало существенной организационной и технологической модернизации сельского хозяйства, движущей силой которой могли стать комплексные механизированные технологии [1].

Для решения этой задачи предстояло принципиально изменить подход к созданию новой техники: перейти от разрозненной разработки отдельных, не связанных между собой машин к созданию комплексов технических средств, гармонизированных по техническим и технологическим параметрам, для выполнения полных циклов работ по возделыванию широкого спектра сельскохозяйственных культур, то есть перейти к созданию Систем машин [1].

Система машин – это научно обоснованная совокупность технических средств со взаимно согласующимися, гармонизированными техническими, технологическими и эксплуатационными параметрами для выполнения комплексных технологических процессов по возделыванию сельскохозяйственных культур. Формирование Систем машин стало возможно благодаря созданной в 1930-1950 гг. мощной научной и образовательной инфраструктуре, сложившимся научным школам и их выдающимся руководителям,

глубоким теоретическим и практическим разработкам отечественной агроинженерной научной школы, сформировавшимся и развивающимся научным коллективам.

Механизация сельского хозяйства 1950-х годов базировалась на технике, разработанной в основном еще в довоенный период, и не отвечала основным требованиям расширяющегося производства. На полях работали тракторы С-60, С-80 «Универсал», СХТЗ-НАТИ, которые не могли обеспечить весь комплекс агротехнических операций. Кроме этого, наблюдался острый дефицит как тракторов и комбайнов, так и почвообрабатывающей, посевной, кормоуборочной техники. Многие группы машин для специальных технологий – в овощеводстве, садоводстве, льноводстве, хлопководстве – не производились вовсе [1-3].

В связи с этим необходимо было определить состав и потребность в технике в различных зонах страны с учетом большого разнообразия природных, почвенно-климатических, производственных условий, существующего районирования и ближайших перспектив внедрения новых сельхозкультур.

Разработка первой Системы машин осуществлялась по решению сентябрьского (1953 г.) Пленума ЦК КПСС, который стал толчком стремительного развития механизированных технологий, систем и комплексов машин. Отчетный доклад был насыщен резкими оценками и реалистичным анализом состояния дел в области производства сельскохозяйственной продукции. Было признано, что растущие потребности населения страны в продуктах питания не удовлетворяются [2]. Продовольственная корзина в условиях трудного послевоенного восстановления оставалась скудной. В 1952 г. население питалось в основном хлебом и картофелем (табл. 1).

низированным производством в мире.

Стояла задача разработать первую Систему машин в течение 3 лет, поставить созданные машины на производство и внедрить их в 1957-1965 гг. Выявлены специфические потребности различных зон страны в машинах и оборудовании, определены основные направления механизации сельского хозяйства, учтены особенности производства различных видов продукции, обоснованы требования к машинам в разных зонах, приоритетность механизации тех или иных операций и процессов.

Результаты и обсуждение. Первая Система машин включала базовые энергетические средства и около 50 основных групп сельхозтехники, объединяющих более 800 наименований машин [1, 2, 4-6].

Основные принципы формирования первой Системы машин:

- обеспечение необходимыми техническими средствами возделывания важнейших сельхозкультур;
- разработка машин с учетом зональных почвенно-климатических и производственных условий;
- гармонизация, то есть согласованность ключевых технологических и технических параметров цепочки машин, выполняющих ту или иную совокупность технологических процессов (табл. 2).

В приоритете был высокий уровень унификации создаваемых машин, что целесообразно в производственных условиях плановой экономики советского государства. В первую Систему машин включены 816 наименований машин, 290 приспособлений и приборного оборудования [1, 2].

Основу мобильной энергетики и формирования комплексов машин для полеводства составляли новые тракторы: колесные МТЗ-2, МТЗ-5; МТЗ-5М, М-5С, МТЗ-7 с четырьмя ведущими колесами; гусе-

Потребление основных продуктов на одного человека в год, кг (1952 г.) CONSUMPTION OF BASIC PRODUCTS PER PERSON PER YEAR, KG (1952)							
Страны Countries	Хлеб / Bread	Картофель Potatoes	Мясо / Meat	Молоко Milk	Яйца / Eggs	Овощи Vegetables	Фрукты Fruit
СССР / USSR	200	190	24	159	70	60	16
США / USA	78	52,2	81,4	345	379	127	90

Одна из главных причин отставания сельского хозяйства – отсутствие необходимых групп машин и недостаточно эффективное использование имеющейся техники. Даже в зерновом хозяйстве, где был достигнут наиболее высокий уровень механизации обработки почвы, посева, уборки, оставались недостаточно механизированными трудоемкие процессы по послеуборочной обработке зерна, уборке и хранению кормов, внесению органических и минеральных удобрений. Пленум наметил, что сельское хозяйство СССР должно опираться на мощную индустриально-техническую базу и стать самым крупным меха-

нические ДТ-54 и Т-75. В Систему были включены первые советские самоходные зерноуборочные комбайны СК-3 и СК-4. Внедрение этих комбайнов, также как и тракторов нового поколения, произвело энергетическую революцию в механизации полеводства, обеспечило стремительный рывок в эффективности работ по уборке урожая. К 1965 г. около 85% парка уборочных машин составляли эти самоходные комбайны [1].

Первая Система машин (1957-1965 гг.) сыграла огромную роль в переходе сельского хозяйства страны к комплексной механизации всех его отраслей, в

Таблица 2

Table 2

ПАРАМЕТРЫ АГРЕГАТИРОВАНИЯ (СООТВЕТСТВИЯ) СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ И МАШИН AGGREGATION PARAMETERS (CORRESPONDENCE) OF AGRICULTURAL TRACTORS AND MACHINES	
Параметры трактора / Tractor parameters	Параметры рабочей машины / Working machine parameters
Тяговое усилие / Traction force	Тяговое сопротивление / Traction resistance
Габарит по ходовой части / Undercarriage dimension	Ширина захвата по рабочим органам / Capture width by working bodies
Грузоподъемность навесной системы / Undercarriage dimension	Масса и распределение массы / Mass and mass distribution
Рабочая скорость при максимальном тяговом сопротивлении машины Operating speed at maximum traction resistance of the machine	Диапазон рабочих скоростей, необходимых для выполнения технологического процесса Range of operating speeds required to complete the process
Диапазон частоты вращения вала отбора мощности PTO shaft speed range	Диапазон частоты вращения роторных рабочих органов Range of rotation speed of rotary working bodies
Крутящий момент вала отбора мощности Power take-off torque	Момент сопротивления роторных рабочих органов Moment-resisting of rotary working bodies
Поперечная устойчивость трактора и агрегата в целом Lateral stability of the tractor and the machine as a whole	Опрокидывающий момент в поперечной плоскости при агрегатировании с навесной машиной Overturning moment in the transverse plane when aggregating with a mounted machine
Емкость, давление и производительность периферийной гидросистемы Capacity, pressure and performance of the peripheral hydraulic system	Емкость и необходимое давление гидросистемы навесной или прицепной машины Capacity and required pressure of the hydraulic system of a mounted or trailed machine
Наличие и параметры передней навески и переднего вала отбора мощности Availability and parameters of the front hitch and front power take-off	Компоновка блоков рабочих органов на передней и задней навесках трактора The layout of the blocks of working bodies on the front and rear hitch of the tractor

первую очередь растениеводства. Внедрение новой техники дало возможность резко поднять урожайность сельхозкультур на 15-20%, повысить производительность труда на полевых механизированных работах на 30-40%, снизить затраты на производство продукции, существенно улучшить обеспечение населения страны продовольствием [1].

При разработке второй Системы машин (1966-1970 гг.) ужесточались требования к техническому уровню и актуальности включения каждой новой машины в Систему. В соответствии с утвержденным Министерством сельского хозяйства регламентом, начиная с 1965 г. заводы-изготовители не имели права поставить на производство ни одной новой модели, если она не была включена в Систему машин. Существенным образом изменились технология, алгоритмы и регламенты разработки, испытания и внедрения машин (табл. 3).

Вторая (1966-1970 гг.) и третья (1971-1975 гг.) Системы машин включали механизированные комплексы технических средств на основе скоростных тракторов нового поколения: колесных МТЗ-80, МТЗ-82, К-700, Т-150 и гусеничных ДТ-75, Т-74, Т-4, Т-4А. В Системе машин вошли зерноуборочные комбайны нового поколения – СК-5 «Нива», СКД «Сибиряк», СК-6 «Колос» [1, 7].

Третья Система машин включала механизированные комплексы для реализации более 50 технологических процессов по возделыванию культур, в ней учитывалась адаптивность машин к почвенно-кли-

матическим зонам. Дополнительно учтены комплексы машин для садоводства, виноградарства, овощеводства, горного земледелия, хлопководства, льноводства. Система включала скоростную технику нового поколения, энергонасыщенные тракторы, машины с активными роторными рабочими органами, комбинированные агрегаты, средства автоматизации производственных процессов.

Применение нового поколения сельхозтехники обеспечило выполнение полевых работ на повышенных скоростях МТА до 12-15 км/ч. Производительность скоростных МТА возросла в 1,5-2,0 раза в сравнении с агрегатами предыдущего поколения, при этом эксплуатационные затраты сократились на 25-30% [5, 6].

Основным принципом формирования четвертой Системы машин (1976-1980 гг.) стали технологические комплексы для выполнения производственных процессов растениеводства во всех важнейших почвенно-климатических зонах. Определены параметры технических средств, составляющих более 450 комплексов для осуществления технологий возделывания культур.

В результате реализации четвертой Системы машин осуществлена системная комплексная механизация растениеводства. Технологические комплексы машин формировались на базе новых энергонасыщенных скоростных тракторов: К-700, К-700А, К-701, МТЗ-80, МТЗ-82, ЛТЗ-145, Т-150, Т-150К, ДТ-175М, ДТ-175С, Т-4А [8].

Таблица 3	Table 3
Подходы (алгоритмы) к созданию новых образцов техники APPROACHES (ALGORITHMS) TO CREATING NEW MACHINE TYPES	
1920-1930 гг. Становление 1920-1930 Formation	1960-1980 гг. Научно-техническая платформа 1960-1980 Scientific and technical platform
Первичный отбор иностранных аналогов Primary selection of foreign analogues	Определение цели создания образца техники в соответствии с его позицией в Системе машин Setting the purpose of creating a machine model in accordance with its position in the Machine System
Предварительное изучение аналогов Preliminary study of analogues	Разработка ТЗ* и АТТ** Development of ToR* and ATR**
Выбор и приобретение прототипа Selecting and purchasing a prototype	Теоретическое определение основных параметров образца техники Theoretical determination of the main machine sample parameters
Изучение и испытание прототипа в российских условиях Examining and testing the prototype in the Russian conditions	Конструирование образца в соответствии с ТЗ*, АТТ** и определенными параметрами Designing a sample in accordance with TK*, ATR** and certain parameters
Упрощение конструкции прототипа («русский стиль конструирования») Simplifying the prototype design ("Russian designing style")	Изготовление опытного образца машины Producing a prototype machine
Изготовление упрощенного прототипа Producing a simplified prototype	Комплексные испытания и исследования опытной машины Comprehensive testing of the prototype machine
Исследование изготовленного прототипа и его модернизация Testing and modernising the manufactured prototype	Доводка конструкции и изготовление промышленной партии машин Fine-tuning the prototype machine design and manufacturing a machine industrial batch
ТЗ* – техническое задание / ToR* – terms of reference; АТТ** – агротехнические требования / ATR** – agrotechnical requirements	

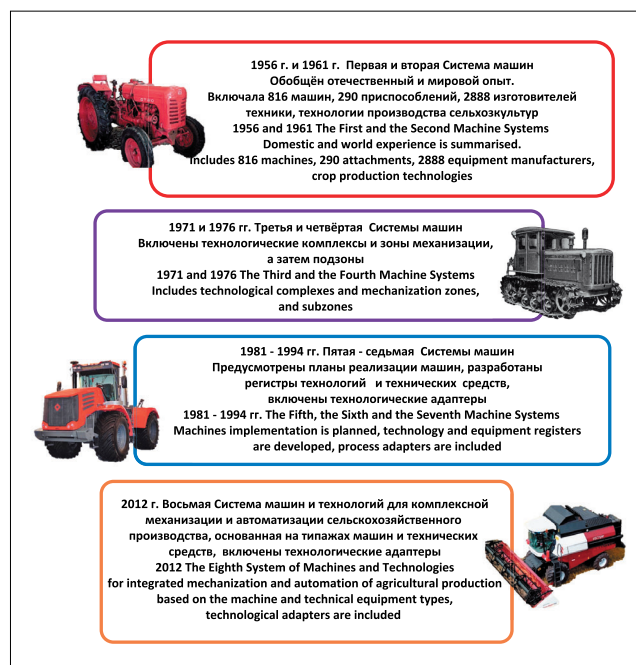


Рис. Эволюция Систем машин в 1956-2012 гг.
Fig. Evolution of Machine Systems in 1956-2012

Пятая, шестая и седьмая Системы машин разрабатывались на 10-летние периоды. Каждая последующая Система становилась развитием предыдущей (рисунок). В них заложены принципы создания технологических комплексов по критериям надежности, высокой производительности, энергонасыщенности, энерго- и ресурсосбережения, экономичности, экологической безопасности, соответствия агротехническим требованиям. Эти Системы включали более 2000 наименований машин.

Пятая Система машин (1981-1990 гг.) предусматривала создание и внедрение комплексов технических средств, обеспечивающих широкое внедрение индустриальных технологий и завершение комплексной механизации возделывания, уборки и послеуборочной обработки зерновых культур, сахарной свеклы, льна, хлопчатника, внесения в почву органических и минеральных удобрений, применения средств защиты растений, а также значительное повышение уровня механизации возделывания и уборки картофеля, овощей, плодов, ягод, винограда, кормов, лекарственных, эфиромасличных и других культур, растений и грибов, выращиваемых в закрытом грунте.

Предусматривалось внедрение прогрессивных технологий и комплексов машин, обеспечивающих перевод всех отраслей растениеводства на промышленные методы производства продукции, значительное повышение производительности и улучшение условий труда механизаторов.

В шестую Систему машин (1986-1995 гг.) включены технические средства (машины, оборудование, их модификации, приспособления) более 2000 наименований, причем 117 из них применялись в других отраслях народного хозяйства [1, 2, 7]. Впервые в Систему вошли машины для закладки на хранение, послеуборочной обработки и реализации плодово-овощной продукции и картофеля. Предусмотрено приме-

нение тракторов 10 классов тяги, что обеспечило комплексную механизацию сельскохозяйственных процессов в различных зональных условиях. Учтена модификация ряда тракторов, увеличена их мощность.

В отличие от предыдущих, седьмая Система машин (1991-2000 гг.) содержала только прогрессивные технические средства. В качестве отдельного приложения разработана Система машин для арендаторов, кооператоров, арендных коллективов, крестьянских хозяйств и личных подсобных хозяйств граждан, содержащая 610 наименований технических средств.

Проведено ранжирование техники по категориям: **А** – важнейшая техника, рекомендованная для госзаказа;

Б – техника отраслевого значения, рекомендованная для госзаказа;

В – техника регионального значения, рекомендованная для создания и изготовления организациями и предприятиями.

Седьмая Система технологий и машин имела жесткую привязку к новым технологиям аграрного производства, но строилась, как и предыдущие Системы, на принципах директивности. В условиях формирования рыночных отношений она не стала востребованной на практике, выполнила лишь информационную и рекомендательную функции.

В условиях, когда рыночные отношения в экономике стали определяющими, когда законодательно разграничены функции государства и бизнеса, следующие перспективные Системы машин должны были базироваться на иных принципах. Было очевидно, что они могут быть востребованы только при наличии к ним интереса со стороны как государства, так и разнообразных участников рынка.

В 2012 г. по заказу Минпромторга России ВИМ разработал восьмую Систему машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства применительно к условиям рыночной экономики. Конкретные модели и марки машин были заменены типажом технических средств. Типаж машины определялся гармонизированной совокупностью технических, технологических, энергетических, экономических, экологических параметров, отражающих современный мировой уровень развития науки и техники. Эта Система машин стала нормативно-информационным документом, оптимизирующим перспективный парк техники и регулирующий программы и алгоритмы создания новых машин на современном этапе [6-9].

Россия располагает достаточным природно-экономическим потенциалом для высокоэффективного зернового производства. Посевные площади под зерновыми культурами можно довести до 70 млн га, а среднюю урожайность – до 2,4-2,7 т/га и, соответственно, валовые сборы – до 155-170 млн т в год. Имеются благоприятные условия для производства куку-

рузы, сои, зернобобовых, крупяных и масличных культур. Задача состоит в том, чтобы эффективно задействовать все имеющиеся в стране материально-технические, кадровые и финансовые ресурсы для интенсивного производства продукции, полного удовлетворения в ней потребностей страны и наращивания экспортного потенциала, прежде всего зерна. Разработанная в 2012 г. Система технологий и машин направлена на решение этой задачи и приобретает особую актуальность в современной ситуации санкционного давления.

В основу формирования машинных технологий положен блочно-модульный принцип. Блок (модуль) определяется как оптимальный набор технологических операций, необходимых для выполнения комплексной машинной технологии.

Предусмотрены три уровня технологий по степени их интенсивности.

Реализация высоких технологий позволяет использовать потенциальную продуктивность сорта на 85-90%. Для таких технологий закладываются высокоэффективные комплексы машин, системное применение научно обоснованных доз комплексных органических и минеральных удобрений, экологически безопасных химических средств защиты растений.

Уровень продуктивности сельхозкультур при интенсивных и нормальных технологиях несколько ниже.

Для обобщенной технико-экономической оценки технологии использованы следующие показатели:

- затраты труда;
- топливная экономичность;
- удельная материалоемкость;
- удельные энергозатраты.

Отличительной чертой современной Системы машин стала замена конкретных марок и моделей машин типажом технических средств. Типаж определяется гармонизированной совокупностью технических, технологических, энергетических, экономических, экологических параметров, отражающих современный мировой уровень развития науки и техники применительно к конкретной группе машин. Основным принципом формирования Системы машин заключается в том, что цифровые типажы сельскохозяйственных машин должны быть гармонизированы с типажом тракторов [10-13].

В мировой практике сложились две системы классификации сельскохозяйственных тракторов:

- в России – тяговые классы по номинальному тяговому усилию, рассчитанному и экспериментально определяемому для заданных эксплуатационной массы и колесной формулы на стерне колосовых культур при регламентированных твердости почвы и ее влажности с ограничениями по допустимому буксованию (ГОСТ 27021-86);
- за рубежом – категории по максимальной тяговой

мощности, полученной при испытаниях на гладкой горизонтальной и сухой бетонированной поверхности (стандарты ИСО 730/1-77, ИСО 730/2-79, ИСО/3-82, ИСО 730:2009) [5, 6].

В Системе машин 2012-2020 гг. применены оба этих принципа: классификация и по тяговому усилию, и по мощности двигателя.

Классификация сельскохозяйственных тракторов включает 11 тяговых классов – от 0,1 до 8 – с регламентированным по ГОСТ 27021-86 (кроме класса 0,1) номинальным тяговым усилием. Вторым классификационным параметром принята мощность тракторного двигателя: номинальная по ИСО 14396 или эксплуатационная по ГОСТ 18509, разделенная в диапазоне от 3 до 400 кВт эксплуатационной мощности на 12 разрядов. Совместно с эксплуатационной массой трактора эксплуатационная мощность определяет энергонасыщенность (удельную материалоемкость) трактора. Это определяющий показатель для разделения тяговой и тягово-энергетической концепций использования мощности двигателя (*табл. 4*) [5-7].

Диапазон мощности – значения между нижней и

верхней границами мощности тракторов одного тягового класса. Мощностной разряд – значения между нижней и верхней границами мощности тракторов одного тягового класса, предназначенных для использования с машинами определенного технологического комплекса. Мощностной разряд может характеризовать семейство моделей, созданных на основе базовой модели.

Отличительная особенность современного технического уровня тракторов – широкое применение элементов автоматизации (*табл. 5*).

Разработанный типаж должен обеспечить повышение производительности труда в 1,2-2,0 раза, снижение затрат топлива и других ресурсов на 18-20% [3].

Выводы. Показали, что побудительной причиной создания Систем машин и технологий стало стремительное развитие социальной жизни страны в период «оттепели» начала 1950-х годов, необходимость резкого улучшения качества жизни людей, существенного расширения ассортимента продуктов питания.

К этому времени в нашей стране была сформирована платформа агроинженерной науки как совокуп-

Таблица 4

Table 4

ТИПОРАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ ТЯГОВЫХ КЛАССОВ И МОЩНОСТНЫХ РАЗРЯДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ* STANDARD SERIES OF TRACTION CLASSES AND POWER CATEGORIES OF AGRICULTURAL TRACTORS*

Тяговый Класс Traction Class	Тяговое усилие, кН Traction force, kN	Мощностной разряд / Power Category			
		колесные тракторы/ wheeled tractors		гусеничные тракторы/caterpillar tractors	
		№ разряда category number	нижняя и верхняя границы, л.с./ кВт/ lower and upper limits, hp / kW	№ разряда Category number	нижняя и верхняя границы, л.с./ кВт/ lower and upper limits, hp / kW
0,1	0,3-1,4	1	3-5,5/3-5	1	–
0,2	1,8-5,4	2	11-18/10-16	2	–
0,6	5,4-8,1	3	24-35/22-32	3	–
0,9	8,1-12,6	4	36-44/33-40	4	–
1,4	12,6-18	5	46-65/41-58	5	–
		6	66-105/59-94	6	–
2	18-27	7	106-134/95-120	7	46-65/41-58
		8	135-168/121-150	8	66-105/59-94
3	27-36	–	–	9	66-105/59-94
		9	135-168/121-150	10	106-134/95-120
4	36-45	10	135-168/121-150	11	106-134/95-120
		11	169-224/151-200	12	135-168/121-150
		12	225-280/201-250	–	–
5	45-54	13	169-224/151-200	13	106-134/95-120
		14	225-280/201-250	14	135-168/121-150
		–	–	15	169-224/151-200
6	54-72	15	225-280/201-250	16	169-224/151-200
		16	281-358/251-320	17	225-280/201-250
		17	359-448/321-400	–	–
8	72-108	18	359-448/321-400	18	281-358/251-320
		–	–	19	359-448/321-400

*В числителе указана номинальная мощность по ИСО 14396, в знаменателе — эксплуатационная по ГОСТ 18509

*The numerator indicates the rated power according to ISO 14396, the denominator indicates the operational power according to GOST 18509

Таблица 5

Table 5

ХАРАКТЕРИСТИКА КАТЕГОРИЙ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ / CHARACTERISTICS OF AUTOMATION ELEMENT CATEGORIES

Категория / Category	Наличие элементов автоматизации / Availability of automation elements
A	Комплексная автоматизация управлением двигателя, трансмиссии, гидронавесной системы, ходовой части, вождения трактора при прямолинейном ходе и на повороте с возможностью программирования циклов технических процессов с применением 2 и более бортовых компьютеров, работа в системе GPS Integrated automation of engine control, transmission, hydraulic system, running gear, rectilinear tractor driving and turning motion with the possibility of programming technical process cycles using 2 or more on-board computers, the GPS system functioning
B	Автоматизация отдельных режимов работы двигателя, трансмиссии, навесной системы, мониторинга и контроля параметров работы узлов и механизмов с наглядным представлением для оператора, работа в системе GPS с применением одного бортового компьютера Automation of engine individual operating modes, transmission, attachment system, monitoring and controlling the operation parameters of units and mechanisms with a visual representation for the operator, the GPS system functioning with the use of one on-board computer
C	Автоматизация с реализацией отдельных технологических функций трансмиссии, навесной системы и ходовой части без применения бортового компьютера Automation implementing individual technological functions of the transmission, attachment system and running gear without the use of an on-board computer
D	Без применения элементов автоматизации / Without the use of automation elements

ный результат общего эволюционного развития и совместной скоординированной деятельности научных, образовательных и испытательных агроинженерных учреждений. Непрерывно развивающийся на этой платформе научно-технический потенциал обеспечил решение крупных народно-хозяйственных проблем, в числе которых – создание Систем машин.

По мере эволюции Систем машин приоритет от-

давали повышению надежности, безопасности, энерго- и ресурсосбережению, энергонасыщенности, расширению функциональности, мультипликативности, улучшению условий труда операторов, качества работы, унификации компонентов, дальнейшему увеличению производительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВИМ: история механизации (1930-2005 гг.). М.: ВИМ, 2005. 504 с.
2. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55.
3. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13.
4. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 12-18.
5. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.
6. Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N1(34). С. 61-67.
7. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. N6. С. 6-10.
8. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2018. N7. С. 2-7.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Ч. 1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ. 2019. 228 с.
10. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ВИМ. 2021. 156 с.
11. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
12. 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.
13. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2018. N7. С. 2-7.

REFERENCES

1. VIM: istoriya mekhanizatsii (1930-2005 gg.) [VIM: Mechanization history (1930-2005)]. Moscow: VIM. 2005. 504 (In Russian).
2. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
3. Tsench Yu.S. Nauchno-tekhnicheskiy potentsial kak glavnyy faktor razvitiya mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva [Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian).
4. Elizarov V.P., Artyushin A.A., Tsench Yu.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Perspective directions of development of national agricultural machinery]. *Vestnik VIESH*. 2018. N2 (31). 12-18 (In Russian).
5. Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (prognoz) [Strategy of russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast)]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
6. Beylis V.M., Tsench Yu.S. Metodologicheskie aspekty standartizatsii mashinnykh tekhnologiy proizvodstva produktsii rastenievodstva [Methodological aspects of standardization of machine technologies for crop production]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N1(34). 61-67 (In Russian).
7. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period until 2020]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N6. 6-10 (In Russian).
8. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i tsifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies, robotized equipment and digital systems for production of main groups of agricultural products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N7. 2-7 (In Russian).
9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa. Ch. 1. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy na dlitel'nyuyu perspektivu [Innovative system of machine and technological support for agro-industrial enterprises. Part 1. Innovative system of machine and technological support of agricultural enterprises for the long term]. Moscow: FNAC VIM. 2019. 228 (In Russian).
10. Tsench Yu.S. Stanovlenie i razvitie nauchno-tekhnicheskogo i kadrovogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Formation and development of scientific, technical and personnel support of the agro-industrial complex in Russia.]. Moscow: FNAC VIM. 2021. 156 (In Russian).
11. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Digitization aspects of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
12. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in soil cultivation]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian).
13. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i tsifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies, robotized equipment and digital systems for production of main groups of agricultural products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N7. 2-7 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Лобачевский Я.П. – постановка проблемы, научное руководство, разработка теоретических предпосылок;
Ценч Ю.С. – определение принципов формирования систем машин и технологий, подведение итогов исследований, визуализация, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lobachevsky Ya.P. – problem statement, scientific supervision, development of theoretical background.
Tsench Yu.S. – determining the principles for the formation of machine and technology systems, identifying the research results, visualization, revision of the manuscript, formation of general conclusions and 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

13.09.2022

28.11.2022

Триботехнические свойства материалов для опор скольжения культиваторов

Вячеслав Александрович Денисов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: va.denisov@mail.ru;
Роман Николаевич Задорожний,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Илья Владимирович Романов,
младший научный сотрудник,
e-mail: gosniti1953@mail.ru;
Наталья Игоревна Чумак,
ведущий инженер,
e-mail: chumak@vimlab.ru;
Александр Олегович Шитов,
инженер, e-mail: shitov@vimlab.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что сельхозтехника выходит из строя преимущественно из-за износа конструктивных деталей. Подчеркнули актуальность поиска новых материалов для изготовления отдельных узлов машин, которые по своим характеристикам не будут уступать прототипам. Акцентировали внимание на деталях, работающих в подвижных соединениях, в частности на бронзовых подшипниках скольжения типа «втулка», которые подвержены большим износам и часто нуждаются в замене. Предположили, что изготовление таких деталей из полимеров поможет решить проблему преждевременного выхода из строя узлов машины. (*Цель исследования*) Сравнить триботехнические свойства опор скольжения культиватора, изготовленных из бронзы и полиамида. (*Материалы и методы*) Изготовили два образца: один из подшипника скольжения (бронза марки БрО10Ф1) культиватора *SunGarden GT10*, второй – из прутка полиамида марки ПА-6. Использовали специальное оборудование: рентгенофлуоресцентный спектрометр *Thermo Scientific Niton XL3t 900 GOLDD+*, трибометр *TRB-S-DE Tribometer CSM Instruments*. (*Результаты и обсуждение*) Провели сравнительные триботехнические испытания по схеме «шар – диск». Установили преимущество образца из полиамида перед эталоном из бронзы: по коэффициенту трения – в 4 раза, по интенсивности изнашивания – в 12 раз. (*Выводы*) Определили, что применение подшипников скольжения из полимеров поможет продлить срок службы сельскохозяйственных культиваторов в 2 раза и повысить эффективность использования в 1,5 раза.

Ключевые слова: опора скольжения, подшипник, бронза, полиамид, триботехника, коэффициент трения, износостойкость, культиватор.

■ **Для цитирования:** Денисов В.А., Задорожний Р.Н., Романов И.В., Чумак Н.И., Шитов А.О. Триботехнические свойства материалов опор скольжения культиваторов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 13-18. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18. EDN ZCTXVW.

Tribotechnical Properties of Materials for Cultivator Sliding Bearings

Vyacheslav A. Denisov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: va.denisov@mail.ru;
Roman N. Zadorozhnyi,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Ilya V. Romanov,
junior researcher, e-mail: gosniti1953@mail.ru;
Natalia I. Chumak,
leading engineer, e-mail: chumak@vimlab.ru;
Alexander O. Shitov,
engineer, e-mail: shitov@vimlab.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Agricultural machinery is stated to break down mainly due to the wear of structural parts. Thus, there is a necessity to apply new materials for manufacturing individual machine units whose characteristics will not be inferior to those of their prototypes. The paper primarily focuses on the components that work in movable joints, in particular, on the sleeve type bronze plain bearings which are exposed to high wear and often need replacing. The use of polymers for manufacturing such parts is supposed to solve the problem of untimely failure of machine components. (*Research purpose*) To compare the tribotechnical

properties of cultivator sliding bearings made of bronze and polyamide. (*Materials and methods*) Two samples were made: one was made of the sliding bearing (BrO10F1 grade bronze) of the SunGarden GT10 cultivator, the other – of a PA-6 polyamide type rod. Special equipment was used such as: X-ray fluorescence spectrometer Thermo Scientific Niton XL3t 900 GOLDD+, TRB-S-DE Tribometer CSM Instruments. (*Results and discussion*) Comparative tribotechnical ball-disk tests were carried out. It was found out that polyamide sample has certain advantages over a bronze standard: it has a 4-times better friction coefficient and a 12-times better wear intensity. (*Conclusions*) It was determined that the use of polymer plain bearings will result in 2 times longer service life of agricultural cultivators and their 1.5 times increased efficiency.

Keywords: sliding bearing, bearing, bronze, polyamide, tribotechnics, friction coefficient, wear resistance, cultivator.

For citation: Denisov V.A., Zadorozhnyi R.N., Romanov I.V., Chumak N.I., Shitov A.O. Tribotekhnicheskie svoystva materialov dlya opor skol'zheniya kul'tivatorov [Tribotechnical properties of materials for cultivator sliding bearings]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 13-18 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18. EDN ZCTXVW.

В конструкциях современной сельхозтехники все чаще применяют новые материалы [1-3]. Наиболее перспективные направления – применение полимерных и композиционных материалов, а также замена металлических узлов трения на полимерные [4-7]. Использование полимеров помогает снизить интенсивность изнашивания, продлить срок эксплуатации узла и тем самым предотвратить преждевременный выход оборудования из строя.

В конструкции некоторых культиваторов, например садового *SunGarden GT10*, имеются опоры скольжения (рис. 1).

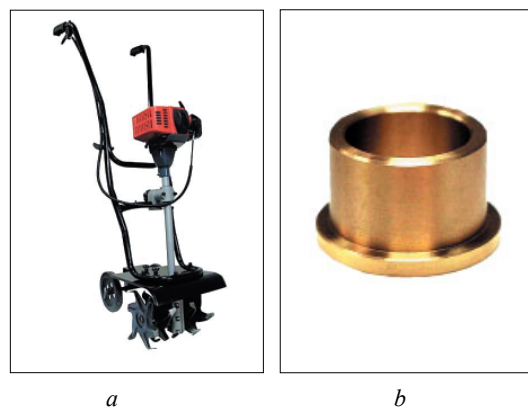


Рис. 1. Культиватор *SunGarden GT10* (а) и подшипник скольжения *SG7-GT10-034*, используемый в его конструкции (б)

Fig. 1. *SunGarden GT10* Cultivator (a) and sliding bearing *SG7-GT10-034*(b), used in its construction

Оригинальная конструкция указанного культиватора предполагает использование опоры скольжения из бронзового сплава. В то же время, как показывает обзор работ по исследованию свойств полиамидов, для этих материалов характерны низкие коэффициенты трения и малая величина износа, что важно при изготовлении опор скольжения [8-10]. Кроме того, стоимость полимеров меньше по сравнению с бронзой.

Цель исследования – сравнение триботехнических характеристик бронзы и полиамида для изготовления опор скольжения культиватора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поскольку в литературных источниках не указана марка материала, применяемого для изготовления подшипника скольжения культиватора *SunGarden GT10*, на первом этапе исследовали химический состав с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра *Thermo Scientific Niton XL3t 900 GOLDD+*. Сопоставление полученных экспериментальных результатов с данными о химическом составе бронзовых сплавов позволило установить, что для изготовления подшипника применяли оловянную бронзу, близкую по составу российской марке *BrO10F1* согласно ГОСТ 613-79 (табл. 1).

Таблица 1		Table 1
СОПОСТАВЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ БРОНЗОВЫХ СПЛАВОВ, %		
COMPARISON OF CHEMICAL COMPOSITIONS OF BRONZE ALLOYS, %		
Элементы Elements	Экспериментальные данные Experimental data	Бронза марки BrO10F1 BrO10F1 bronze type
Cu	89,17	86,9-90,6
Sn	9,90	9-11
Fe	0,79	< 0,2
Pb	0,67	< 0,3
Zn	0,53	< 0,3
Sb	0,37	< 0,3

Как показало исследование состава, количество примесей превышает гостированные значения. Это говорит о том, что производитель пренебрег чистотой материала при производстве детали.

Триботехнические характеристики оригинального материала исследовали на образцах, изготовленных непосредственно из подшипника. В качестве альтернативы выбрали образцы из прутка полиамида марки ПА-6 диаметром 50 мм. Полиамиды – наиболее распространенные термопластичные антифрикционные материалы. Они обладают низким коэффициентом трения, достаточно износостойкие, способны работать в широком интервале температур – от –40°C до +80°C. Их применяют для изготовления уз-

лов трения, как в чистом виде, так и с наполнителями: фторопластом, дисульфидом молибдена, графитом и другими смазками. Благодаря высокой механической прочности полиамидов армировать их не нужно, поэтому в них вводят лишь добавки, снижающие коэффициент трения и износ.

Образцы испытывали на трение на трибометре *TRB-S-DE Tribometer CSM Instruments* по соответствующей методике [11-13]. В качестве схемы трения выбрали вариант «шар – диск» (рис. 2). Контртелом выступал шарик из закаленной стали диаметром 5 мм. Скольжение контртела относительно образца обеспечивали путем вращения платформы с образцом при скорости вращения 200 об/мин. Путь трения составил 4000 м.

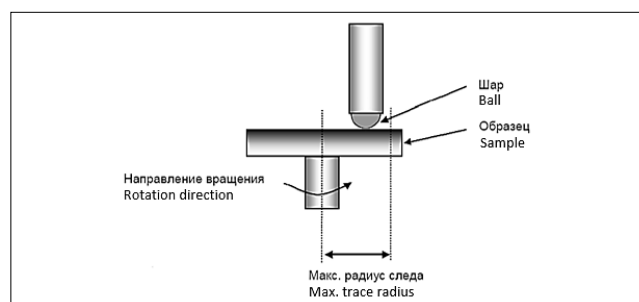


Рис. 2. Реализуемая схема трения

Fig. 2. Implemented friction scheme

Испытательную нагрузку определяли методом ступенчатого нагружения. Суть данного метода заключается в том, что нагрузку, прикладываемую к образцу в процессе испытания, раз в 20 мин повышают на 0,5 Н до тех пор, пока прибор не начнет регистрировать скачки коэффициента трения, что сигнализирует о заедании. После этого следует плавная разгрузка с повторением тех же самых ступеней. Определили зависимость коэффициента трения от пути трения (рис. 3).

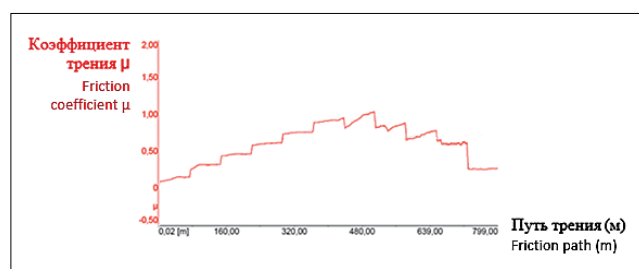


Рис. 3. Коэффициент трения при ступенчатом нагружении

Fig. 3. Friction coefficient under step loading

Далее рассчитали изменение коэффициента трения при переходе со ступени на ступень. Проанализировали полученный ряд значений и определили с его помощью рабочую нагрузку P_0 , при которой изменение коэффициента трения минимально. Последующие основные испытания материала проводили

при нагрузке P_0 . По этой методике определяли рабочую нагрузку для каждого образца [14-16].

Кроме коэффициента трения, вычисляли интенсивность объемного изнашивания образцов, $\text{мм}^3/\text{м}$:

$$I_V = \Delta m / (L \cdot \rho),$$

где $\Delta m = m_0 - m_1$ – массовый износ, г;

m_0 – масса исследуемого на трение образца до начала испытаний, г;

m_1 – масса образца после испытаний на трение, г;

L – путь трения, м;

ρ – плотность материала, $\text{г}/\text{мм}^3$.

Массу образцов измеряли с помощью высокоточных весов *A&D GR-200* с дискретностью 0,1 мг.

Результаты и обсуждение. Перед началом основного испытания для каждого исследуемого образца установили испытательную нагрузку P_0 методом ступенчатого нагружения. В процессе нагружения и разгрузки фиксируют значения коэффициента трения на каждой «ступеньке». Затем вычисляют изменение коэффициента, то есть разницу между коэффициентом текущей и предыдущей «ступени» (табл. 2). Например, в процессе нагружения при 1 Н коэффициент трения составляет 0,327, а при 0,5 Н – 0,146. Следовательно, изменение коэффициента трения при нагрузке 1 Н составляет: $0,327 - 0,146 = 0,181$.

Результаты триботехнических испытаний образцов из бронзы и полиамида показали, что средний коэффициент трения для полиамида равен 0,15, тогда как для бронзы он почти в 30 раз больше – 4,15. Причина низкого значения в варианте с полиамидом заключается в том, что в процессе трения на его поверхности образуется слой ориентированных в направлении трения макромолекул, которые легко скользят друг по другу вследствие низкого межмолекулярного взаимодействия [17-19] (табл. 3).

Перед основными испытаниями для каждого образца экспериментально в соответствии с методикой выбирают оптимальную нагрузку. В реальных условиях эксплуатации рабочую нагрузку устанавливают после приработки. Ступенчатый метод позволяет симулировать эти условия и определить оптимальную нагрузку испытаний, близкую к реальной. Эта нагрузка может быть разной не только для каждого материала, но и для каждого образца.

Далее установили массовый износ образцов и интенсивность объемного изнашивания (табл. 4).

Как и в случае с коэффициентом трения, бронза уступает полиамиду: для сплава BrO10Ф1 интенсивность объемного износа составила $30,05 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3/\text{м}$, тогда как для полиамида в 12 раз меньше – $2,37 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3/\text{м}$. Более интенсивный износ бронзы, вероятно, обусловлен повышенным коэффициентом трения, из-за чего в материале быстрее накапливаются критические напряжения, способствующие разрушению [20].

Выводы. Полиамид марки ПА-6 имеет лучшие

Таблица 2		Table 2		
Коэффициент трения и его изменение при ступенчатом нагружении образца Friction coefficient and its change under step loading of the sample				
Нагрузка, Н Load, N	Коэффициент трения Friction coefficient		Изменение коэффициента трения Friction coefficient changes	
	нагружение / loading	разгружение unloading	нагружение / loading	разгружение unloading
0,5	0,146	0,267	0,146	0,352
1,0	0,327	0,618	0,181	0,107
1,5	0,476	0,725	0,149	0,122
2,0	0,620	0,847	0,144	0,064
2,5	0,769	0,911	0,149	0,020
3,0	0,931	0,931	0,162	0,162

Таблица 3			Table 3		
РЕЗУЛЬТАТЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ (ПУТЬ ТРЕНИЯ 4000 м, СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ 200 ОБ/МИН) RESULTS OF TRIBOTECHNICAL TESTS OF SAMPLES (FRICTION PATH 4000 m, ROTATION SPEED 200 RPM)					
Марка материала Type of material	№ образца Sample number	Рабочая нагрузка, Н Operating load, N	№ дорожки трения Friction path number	Коэффициент трения Friction coefficient	Средний коэффициент трения Average friction coefficient
Полиамид марки ПА-6 PA-6 type polyamide	1	1,0	1	0,15	0,15
			2	0,14	
			3	0,17	
	2	1,5	1	0,13	
			2	0,18	
			3	0,14	
Бронза БрО10Ф1 BrO10F1 type bronze	1	6,0	1	4,23	4,15
			2	3,72	
			3	4,51	

Таблица 4		Table 4		
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗНОСА ОБРАЗЦОВ CALCULATION RESULTS FOR THE SAMPLE WEAR INDICATORS				
Марка материала Type of material	№ образца Sample number	№ дорожки трения Friction path number	Массовый износ, г Weight wear, g	Средняя интенсивность объем- ного изнашивания, мм ³ /м·10 ⁻⁹ Average intensity of volume wear, mm ³ /m·10 ⁻⁹
Полиамид марки ПА-6 PA-6 polyamide type	1	1	0,0012	2,37
		2	0,0008	
		3	0,0016	
	2	1	0,0010	
		2	0,0011	
		3	0,0009	
Бронза БрО10Ф1 BrO10F1 bronze type	1	1	0,1053	30,05
		2	0,1157	
		3	0,0971	

триботехнические характеристики по сравнению с оловянной бронзой марки БрО10Ф1, применяемой для изготовления подшипника скольжения культиватора *SunGarden GT10*. Средний коэффициент трения для полиамида составил 0,15, для бронзы – 4,15; интенсивность объемного износа – $2,37 \cdot 10^{-9}$ и $30,05 \cdot 10^{-9}$ мм³/м соответственно. Причина низкого коэффициента трения полиамида кроется в особом порядке организации молекул в приповерхностных слоях полимера.

Таким образом, можно ожидать, что подшипники скольжения из полиамида будут гораздо более долговечными, чем из бронзы. В дальнейшем планируется провести эксплуатационные испытания подшипников культиватора *SunGarden GT10*, выполненных из полиамида, а также исследовать триботехнические свойства композитов различного состава на основе полиамида.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 536-538.
2. Izmailov A.Yu., Moskovsky M.N., Podlesnyi D.S. Development of a set of working units from polymeric materials for the design of combine harvesters. *MATEC Web of Conferences. 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. 2018. 05010.
3. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К. Технические средства для химической защиты растений: состояние и перспективы развития // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. N3. С. 12-18.
4. Дорохов А.С., Свиридов А.С., Гончарова Ю.А., Алехина Р.А. Оценка химической стойкости полиуретановых компаундов, применяемых при изготовлении диафрагм мембранно-поршневых насосов // *Техника и оборудование для села*. 2021. N8 (290). С. 41-44.
5. Славкина В.Э., Кузьмин А.М., Гончарова Ю.А., Алехина Р.А., Денисов В.А. Исследование реологических свойств композиционных материалов для изготовления распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2022. N6. С. 26-33.
6. Sharifullin S.N., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Kudryashova E.Y., Reschikov E.O., Izikaeva A.I. Tribotechnical tests of layered polymers. *Tribology in Industry*. 2020. Vol. 42. N1. 81-88.
7. Slavkina V., Lopatina Yu. Study of tribotechnical characteristics of 3d printed abs plastic samples. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Modern Power Engineering*. 2020. 012032.
8. Shibata K., Yamaguchi T., Hokkirigawa K. Tribological behavior of polyamide 66/rice bran ceramics and polyamide 66/glass bead composites. *Wear*. 2014. Vol. 317. Iss. 1-2. 1-7.
9. Li J., Xia Y.C. The reinforcement effect of carbon fiber on the friction and wear properties of carbon fiber reinforced PA6 composites. *Fibers and polymers*. 2009. V. 10. N4. 519-525.
10. Unal H., Mimaroglu A. Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions. *Wear*. 2012. Vol. 289. 132-137.
11. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks with a secondary bronze coating. *Coatings*. 2022. Vol. 12. N3. 312.
12. Романов И.В., Задорожный Р.Н. Оценка триботехнических свойств покрытия, полученного электроискровым упрочнением // *Технический сервис машин*. 2020. N4 (141). С. 157-163.
13. Романов И.В., Задорожный Р.Н., Денисов В.А. Исследование триботехнической работоспособности вторичных бронзовых материалов // *МашиТех 2022. Инновационные технологии, оборудование и материальные заготовки в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции*. Москва. 2022. С. 340-343.
14. Евсюков А.А., Денисов В.А. Исследование физико-механических свойств электроискровых покрытий // *МашиТех 2022. Инновационные технологии, оборудование и материальные заготовки в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции*. Москва. 2022. С. 297-299.
15. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Сидоркин О.А., Задорожный Р.Н., Струнkin П.В. Аналитическая оценка износа рабочей поверхности шнековых устройств с композиционным покрытием // *Технический сервис машин*. 2021. N2(143). С. 151-161.
16. Денисов В.А., Кудряшова Е.Ю., Романов И.В., Решиков Е.О. Сравнительные испытания на износостойкость слоистых полимеров с добавлением армирующих волокон // *Труды ГОСНИТИ*. 2018. Т. 132. С. 164-175.
17. Гончарова Ю.А., Денисов В.А. Анализ отказов полимерных деталей сельскохозяйственной техники // *Технический сервис машин*. 2021. N3(144). С. 146-154.
18. Denisov V.A., Slavkina V.E., Sviridov A.S., Goncharova Y.A. Study of 3D printed agricultural slotted spray nozzles. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2022. Vol. 51. N3. С. 271-276.
19. Славкина В.Э., Кузьмин А.М., Гончарова Ю.А., Алехина Р.А., Денисов В.А. Исследование реологических свойств композиционных материалов для изготовления распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2022. N6. С. 26-33.
20. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Соломашкин А.А. Способ определения остаточного ресурса деталей машин // *Технический сервис машин*. 2020. N1(138). С. 50-57.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu. Intellektual'nye tekhnologii i robotizirovannye sredstva v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Intelligent technologies and robotic means in agricultural production]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. Vol. 89. N5. 536-538 (In Russian).
2. Izmailov A.Yu., Moskovsky M.N., Podlesnyi D.S. Development of a set of working units from polymeric materials for the design of combine harvesters. *MATEC Web of Conferences. 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. 2018. 05010 (In English).
3. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eshchin A.V., Kurbanov R.K. Tekhnicheskie sredstva dlya himicheskoy zashchity rasteniy: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Technical means for chemical protection of plants: current state and development prospects]. *Agroinzheneriya*. 2022. Vol. 24. N3. 12-18 (In Russian).
4. Dorokhov A.S., Sviridov A.S., Goncharova Yu.A., Alekhina R.A. Otsenka himicheskoy stoykosti poliuretanovykh kompoundov, primenyaemykh pri izgotovlenii diafragm membranno-porshnevykh nasosov [Evaluation of the chemical resistance of polyurethane compounds used in the manufacture of diaphragms for diaphragm piston pumps] *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N8 (290). 41-44 (In Russian).
5. Slavkina V.E., Kuz'min A.M., Goncharova Yu.A., Alekhina R.A., Denisov V.A. Issledovanie reologicheskikh svoystv kompozitsionnykh materialov dlya izgotovleniya raspyliteley sel'skokhozyaystvennykh opryskivateley [Investigation of rheological properties of composite materials for manu-

- facture of sprayers of agricultural sprayer-machines] *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. 2022. N6. 26-33 (In Russian).
6. Sharifullin S.N., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Kudryashova E.Y., Reschikov E.O., Izikaeva A.I. Tribotechnical tests of layered polymers. *Tribology in Industry*. 2020. Vol. 42. N1. 81-88 (In English).
 7. Slavkina V., Lopatina Yu. Study of tribotechnical characteristics of 3d printed abs plastic samples. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Modern Power Engineering*. 2020. 012032 (In English).
 8. Shibata K., Yamaguchi T., Hokkirigawa K. Tribological behavior of polyamide 66/rice bran ceramics and polyamide 66/glass bead composites. *Wear*. 2014. Vol. 317. 1-2. 1-7 (In English).
 9. Li J., Xia Y.C. The reinforcement effect of carbon fiber on the friction and wear properties of carbon fiber reinforced PA6 composites. *Fibers and polymers*. 2009. Vol. 10. N4. 519-525 (In English).
 10. Unal H., Mimaroglu A. Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions. *Wear*. 2012. Vol. 289. 132-137 (In English).
 11. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks with a secondary bronze coating. *Coatings*. 2022. Vol. 12. N3. 312 (In English).
 12. Romanov I.V., Zadorozhny R.N. Otsenka tribotekhnicheskikh svoystv pokrytiya, poluchennogo elektroiskrovym uprochneniem [Evaluation of tribotechnical properties of the coating obtained by electric spark hardening]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. N4 (141). 157-163 (In Russian).
 13. Romanov I.V., Zadorozhny R.N., Denisov V.A. Issledovanie tribotekhnicheskoy rabotosposobnosti vtorichnykh bronzovykh materialov [Tribological performance of secondary bronze materials]. *MashTekh 2022. Innovatsionnye tekhnologii, oborudovanie i material'nye zagotovki v mashinostroenii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow. 2022. 340-343 (In Russian).
 14. Evsyukov A.A., Denisov V.A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv elektroiskrovyykh pokrytiy [Physical and mechanical properties of electrospark coatings]. *MashTekh 2022. Innovatsionnye tekhnologii, oborudovanie i material'nye zagotovki v mashinostroenii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow. 2022. 297-299 (In Russian).
 15. Zhachkin S.Yu., Pen'kov N.A., Sidorkin O.A., Zadorozhny R.N., Strunkin P.V. Analiticheskaya otsenka iznosa rabochey poverkhnosti shnekovykh ustroystv s kompozitsionnym pokrytiem [Analytical assessment of wear of the working surface of screw devices with composite coating]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2021. N2 (143). 151-161 (In Russian).
 16. Denisov V.A., Kudryashova E.Yu., Romanov I.V., Reschikov E.O. Sravnitel'nye ispytaniya na iznosostoykost' sloistyykh polimerov s dobavleniem armiruyushchikh volokon [Comparative tests on wear resistance of layered polymers with the addition of reinforcing fibers]. *Trudy GOSNITI*. 2018. Vol. 132. 164-175 (In Russian).
 17. Goncharova Yu.A., Denisov V.A. Analiz otkazov polimernykh detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Failures of polymer parts of agricultural machinery]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2021. N3(144). 146-154 (In Russian).
 18. Denisov V.A., Slavkina V.E., Sviridov A.S., Goncharova Y.A. Study of 3D printed agricultural slotted spray nozzles. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2022. Vol. 51. N3. 271-276 (In English).
 19. Slavkina V.E., Kuz'min A.M., Goncharova Yu.A., Alekhina R.A., Denisov V.A. Issledovanie reologicheskikh svoystv kompozitsionnykh materialov dlya izgotovleniya raspylitley sel'skokhozyaystvennykh opryskivatelye [Investigation of rheological properties of composite materials for manufacture of sprayers of agricultural sprayer-machines]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. 2022. N6. 26-33 (In Russian).
 20. Chernoiyanov V.I., Denisov V.A., Solomashkin A.A. Spособ opredeleniya ostatochnogo resursa detaley mashin [How to determine the remaining life of machine parts]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. N1(138). 50-57 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Денисов В.А. – научное руководство, анализ экспериментальных результатов;

Задорожний Р.Н. – проведение испытаний, анализ экспериментальных результатов;

Романов И.В. – редактирование и доработка текста статьи, подготовка материала к публикации;

Чумак Н.И. – редактирование и доработка текста статьи;

Шитов А.О. – проведение испытаний, обработка экспериментальных результатов, подготовка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Denisov V.A. – scientific guidance, analysis of experimental results;

Zadorozhny R.N. – conducting experiments, analysis of experimental results;

Romanov I.V. – proofreading and finalizing the text of the article, preparing the material for publication;

Chumak N.I. – proofreading and finalizing the text of the article;

Shitov A.O. – conducting experiments, processing experimental results, preparing the text of the article.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.08.2022

10.10.2022

Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов

Михаил Николаевич Костомахин,

кандидат технических наук,

заведующий лабораторией, e-mail: redizdat@mail.ru;

Ефим Вадимович Пестряков,

младший научный сотрудник,

e-mail: unlimited-007@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что искусственный интеллект все шире применяют в сельском хозяйстве, в том числе при диагностировании состояния сельскохозяйственной техники. Отметили, что параллельно с программами разрабатываются новые вычислительные устройства, позволяющие хранить и обрабатывать большие объемы данных. (*Цель исследования*) Создать программный комплекс на базе нейронной сети для дистанционного контроля предельного состояния отдельных узлов и агрегатов с помощью диагностических устройств. (*Материалы и методы*) Проанализировали зарубежные исследования схожей тематики. Выявили, что для сбора данных для искусственного интеллекта имеются устройства на базе популярных микроконтроллеров *STM32* и *Arduino*, используется программно-аппаратная платформа *Nvidia CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*). Для разработки применили язык программирования *C/C++*, в качестве хранилища – базу *MS SQL Server*. Подчеркнули, что общее программное обеспечение может работать на всех основных операционных системах, таких как *Windows*, *Mac OS*, *Linux*. Отметили важную роль нейросети, которая объединяет все программные блоки и выдает свой анализ. (*Результаты и обсуждение*) Информация с диагностических устройств аккумулируется в базе данных. Созданная на основе этой базы нейросеть постоянно обучается и одновременно анализирует поступающие данные в режиме реального времени, автоматически выдавая свои рекомендации. Установили, что нейросеть, созданная сотрудниками Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, имеет больше возможностей, например, способна работать напрямую с устройствами и проводить более детальный технический анализ. (*Выводы*) Создали нейронную сеть для анализа состояния техники, что повышает оперативность принятия решений в отношении ремонта, прогнозируемость. Предложили критерии эксплуатации техники.

Ключевые слова: искусственный интеллект, *CUDA*, автоматизация, микроконтроллеры, обработка сигналов, база данных.

■ **Для цитирования:** Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25. EDN OMXDIQ.

Software Package for Remote Diagnostics of Agricultural Machinery Condition

Mikhail N. Kostomakhin,

Ph.D.(Eng.), head of laboratory,

e-mail: redizdat@mail.ru;

Efim V. Pestryakov,

junior assistant,

e-mail: unlimited-007@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Artificial intelligence is stated to be more and more widely used in agriculture, as well as for the diagnostics of the agricultural machinery condition. It was noted that in besides software, new computing devices are developed that enable processing and storing large amounts of data. (*Research purpose*) To create a neural network-based software package for remote diagnostics of the limit state of machinery individual components and assemblies. (*Materials and methods*) Foreign studies within the problem area were analysed. It was found out that for data collection for artificial intelligence there exist *STM32* and *Arduino* microcontroller-based devices, and the *Nvidia CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*) hardware and software platform is used. For the software was developed in the *C / C ++* programming language, and the *MS SQL Server* database were used as a repository. The general software is emphasized to be able to run on all major operating systems such as *Windows*, *Mac OS*, *Linux*. The role of neural network is argued to be important since it integrated all program blocks and provides its own analysis. (*Results*

and discussion) The information from the diagnostics devices is accumulated in a database. The neural network created on the basis of this database is constantly learning and simultaneously analyzing incoming data in real time, automatically issuing its recommendations. It was found that the neural network created by the employees of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM has more functional options, for example, it is able to work directly with devices and conduct a more detailed technical analysis. (*Conclusions*) A neural network for equipment condition diagnostics was created, which increases the efficiency of decision-making in case of repair, and improves forecast and predictability. The criteria for equipment operation were proposed

Keywords: artificial intelligence, CUDA (Compute Unified Device Architecture), automation, microcontrollers, signal processing, database.

For citation: Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Programmnyy kompleks dlya distantsionnogo kontrolya uzlov i agregatov [Software package for remote diagnostics of agricultural machinery condition]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 19-25 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25. EDN OMXDIQ.

Программные комплексы используют в сельском хозяйстве как для управления технологическими процессами, так и для диагностирования текущего состояния. При этом важен правильный и бесперебойный сбор данных с технического средства. Огромный массив данных требует качественного и быстрого анализа. Для этих целей существуют технологии, такие как *BigData* и алгоритмы искусственного интеллекта.

Технические средства, в частности тракторы, становятся все более сложными, возрастает уровень автоматизации производственных процессов. Однако любая нештатная ситуация может привести к сбою всего технологического процесса. Зачастую экономически выгоднее проводить плановое техническое обслуживание, чем срочный ремонт. Диагностика и предсказуемость – ключевые факторы «бережливого производства», цифровизации и автоматизации отрасли.

В этом направлении было проведено очень мало исследований и разработок, что позволяет говорить о новизне идеи и актуальности разработки специализированных технических средств для диагностирования, программного комплекса, обрабатывающего данные в реальном времени, и алгоритмов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей. В данной статье представлена работа в этом направлении на примере трактора.

Цель исследования – создание программного комплекса на базе нейронной сети для дистанционного контроля предельного состояния отдельных узлов и агрегатов.

Материалы и методы. Состояние машины считается предельным, когда ее дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо невозможно или нецелесообразно восстановление ее исправного или работоспособного состояния. С учетом современных тенденций в диагностировании и значительной удаленности объектов контроля наиболее рациональным и экономически оправданным считается использование удаленного *on-line* мониторинга техники, позволяющего не допускать экс-

плуатацию в предельных или аварийных значениях параметров [1-4].

Для получения данных о текущем состоянии трактора ученые ФНАЦ ВИМ разработали цифровые устройства, где использованы отладочные платы на базе микроконтроллеров: *STM32*, *ESP32*, *Arduino* и т.д. Различные интерфейсы связи взаимодействуют с датчиками, получают и анализируют данные. Основная работа ведется с помощью интерфейсов связи: *GPIO* (*General-purpose input/output*), *UART* (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), *CAN* (*Controller Area Network*), *RS-485* (*Recommended Standard-485*). В ряде случаев используют модули АЦП/ЦАП (аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь). На языке программирования *C* разработан ряд программного обеспечения, встроенного в микроконтроллеры. Они оцифровывают данные в режиме реального времени. Все данные с микроконтроллера попадают в нейронную сеть для контроля диагностических показателей.

Рассмотрим разработанные учеными ФНАЦ ВИМ прототипы устройств, для которых предназначен наш программный комплекс.

Прототип индикатора уровня пульсаций давления (далее – ИПД) позволяет оперативно получать цифровые данные о температуре, среднем давлении, амплитуде и частоте импульсов давления на выходе из гидронасоса. По их величине возможно провести оценку технического состояния при эксплуатации, техническом обслуживании, при проведении обкатки, что позволяет получать исходные данные для прогнозирования ресурса гидронасоса (*рис. 1*).

На графике красная линия отображает показания эпсилона, зеленая – расход жидкости, синяя – давление. На нем можно наблюдать зависимость расхода от давления.

Для диагностики и контроля работоспособности гидронасоса используется метод амплитудно-фазовых характеристик, основанный на анализе волновых процессов в напорной или сливной магистралях на рабочих режимах при загрузке гидросистемы со стороны исполнительного органа или дросселирования

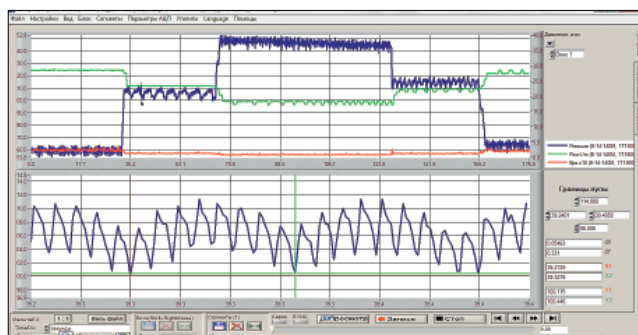


Рис. 1. График работы индикатора уровня пульсаций
Fig 1. Graph of the ripple level indicator operation

жидкости в сливной магистрали. Метод применим для оценки и общего технического состояния, а также локализации неисправностей. Наиболее эффективен этот метод в гидросистемах, работа которых сопровождается значительными колебаниями давления [1].

Износ плунжерных пар оценивают по коэффициенту пульсации давления:

$$\varepsilon = 2 (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min}), \quad (1)$$

где $P_{\max}$ и $P_{\min}$ – экстремальные значения пульсирующего давления.

Все эти параметры, включая и данный коэффициент, рассчитываются и передаются на центральный сервер программного комплекса.

Износ плунжерных пар ε зависит от технического состояния устройства (рис. 2-4).

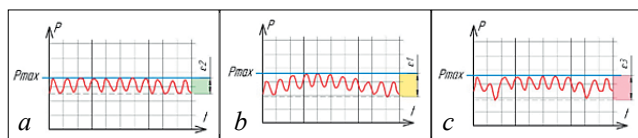


Рис. 2. Пульсация давления на выходе из шестеренного насоса: а – нормальная работа насоса (равномерная пульсация за оборот); б – циклическая пульсация из-за эксцентриситета зубчатых колес насоса; с – характерное падение давления в результате износа отдельных зубьев шестерен насоса
Fig. 2. Pressure ripple at the gear pump outlet: a – normal operation of the pump (uniform ripple per revolution); b – cyclic ripple due to the pump gear eccentricity; c – typical pressure drop due to wear of individual pump gear teeth

Допустимые пределы диагностического параметра ε для разных типов насосов рассчитываются индивидуально.

Рассмотрим устройство, которое непрерывно отслеживает развиваемое шестеренным насосом давление, по частоте пульсации рассчитывает коэффициент пульсации давления и скорость вращения насоса (рис. 5).

Прототип устройства предлагается оснастить тремя световыми индикаторами, соответствующими трем условным зонам работы насоса (рис. 3). Для подключения быстродействующего точного измеритель-

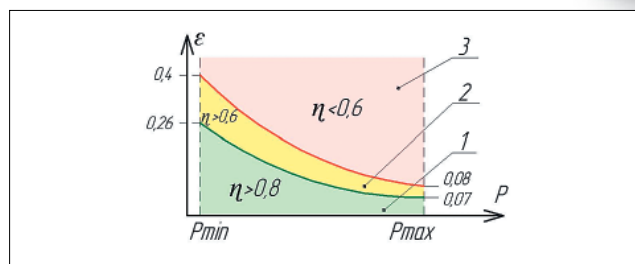


Рис. 3. Условные зоны «работоспособности» шестеренного насоса НШ-32, определяемые при помощи расчета коэффициента пульсации давления (ε): 1 – насос полностью работоспособен, расчетный КПД (η) насоса выше 80%; 2 – насос работает неэффективно, расчетный КПД насоса не превышает 80%; 3 – насос требует замены, так как КПД насоса на текущих режимах работы ниже 60%; $P_{\min}$ – $P_{\max}$ – диапазон давления
Fig. 3. Nominal standard "operability" zones of NSh-32 gear pump, determined by calculating the pressure ripple ratio (ε): 1 – the pump is fully operational, the calculated performance index (η) of the pump is above 80%; 2 – the pump is inefficient, the calculated performance index of the pump does not exceed 80%; 3 – the pump needs to be replaced, since the performance index of the pump at current operating modes is less than 60%; $P_{\min}$ – $P_{\max}$ – pressure range



Рис. 4. Прототип устройства во время стендовых испытаний изношенного шестеренного насоса
Fig. 4. A device prototype used during the bench tests of a worn gear pump

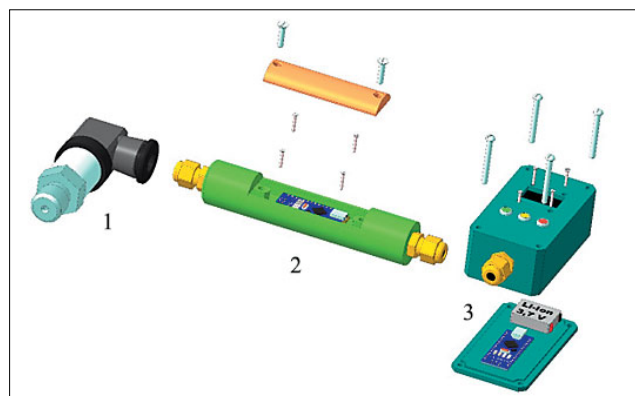


Рис. 5. Прототип устройства для контроля состояния шестеренного насоса по коэффициенту пульсации ε : 1 – датчик давления РТМ-М3-100-0,25%-С1-ГК1; 2 – микропроцессорное устройство на базе AVR; 3 – блок питания
Fig. 5. A device prototype for monitoring the gear pumps condition by the ripple ratio ε : 1 – RTM-M3-100-0.25%-C1-GK1 pressure sensor; 2 – AVR-based microprocessor device; 3 – power supply

ного оборудования предусмотрен диагностический разъем [5, 6]. В случае, если устройство длительное время сигнализирует о критически низком КПД насоса, проводится диагностика насоса при подключении в диагностический разъем (например, осциллографа) и изучении формы сигнала пульсации давления на экране [7].

Следующая разработка – это устройство по работе с CAN (интерфейсом трактора). Оно представляет собой микроконтроллер, к которому по интерфейсу SPI подключен трансивер CAN. К трансиверу подсоединены High- и Low-линии CAN-шины, расположенной на технике (рис. 6). Микроконтроллер передает данные на персональный компьютер по протоколу UART.



Рис. 6. CAN-устройство

Fig. 6. CAN device

CAN-устройство подключается к CAN-интерфейсу трактора и считывает значение в 16-ричном стандарте (рис. 7).

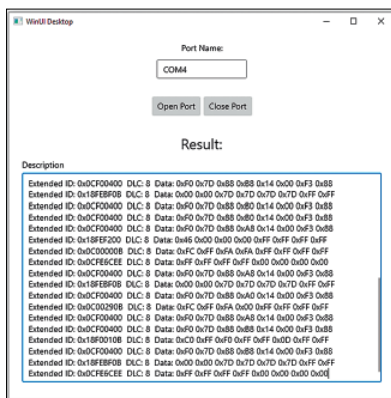


Рис. 7. Данные с шины CAN

Fig. 7. CAN bus data

Строка сообщения CAN состоит из 3 блоков:

1 – расширенный (или стандартный) идентификатор устройств внутри машины, с которых получены данные. Размер расширенного стандарта современной версии – 29 бит;

2 – поле DLC показывает, сколько байт поступило. Согласно стандарту CAN, это 8 байт, но пакет также может быть неполным;

3 – «данные» – это поле самих данных, стандартный размер – 8 байт. Они представлены в числовой форме 16-ричной системы исчисления. Каждый байт

может отображать как отдельный индикатор, так и его часть.

Шина CAN работает по собственному протоколу. Он может измениться в зависимости от машины [8]. Протоколы J1939/ J1979 наиболее часто используются на подобной технике. В программу заложено автоматическое определение протокола. Но получить данные в соответствии с протоколом – это еще не все, некоторые данные приходят разбитыми на несколько байт в сообщении. В программном комплексе запрограммированы следующие формулы приведения:

1. Сначала необходимо перевести данные из 16-ричной системы исчисления в двоичную (бинарную). Потом с помощью операции конкатенации (присоединения) соединяем полученные байты в двухбайтовые значения. Далее переводим в десятичную систему исчисления, для получения конечного результата. К тому же в документации нужно будет учесть поправочный коэффициент для каждого конкретного параметра.

2. Переводим значение в десятичную систему исчисления по формуле перевода системы исчисления:

$$x_q = \sum_{i=1}^{n+m} a_i q^{i-1}, \quad (2)$$

где X – само число;

q – основание системы;

a_i – цифра, принадлежащая к алфавиту данной системы;

n – число целых разрядов числа;

m – число дробных разрядов числа.

Все данные обрабатываются специальным программным обеспечением в интегрированной среде разработки Visual Studio 2022. В будущем планируется переносимость на другие операционные системы, в основном на дистрибутивы Linux. На завершающем этапе работы нейронная сеть выдает свой анализ на основе получаемой информации.

Результаты и обсуждение. Само программное обеспечение представляет собой многопроцессорное и многопоточное приложение, которое работает вместе с базой данных для их накопления. При разработке хранилища используется система управления базами данных (СУБД) MS SQL Server.

Вся работа алгоритма программного обеспечения для сбора и накопления данных координируется центральным процессом (рис. 8). Он управляет всеми другими программными процессами: сбором данных с микроконтроллеров, нейронной сетью, сервером базы данных. Нейронная сеть обучается на основе сервера базы данных, которая в свою очередь накапливается с помощью данных, поступающих с микроконтроллеров и центрального процесса.

После того как мы наладили сбор и структурирование данных в базе, возникает вопрос о ее дальнейшем анализе. Поскольку информация накапливается

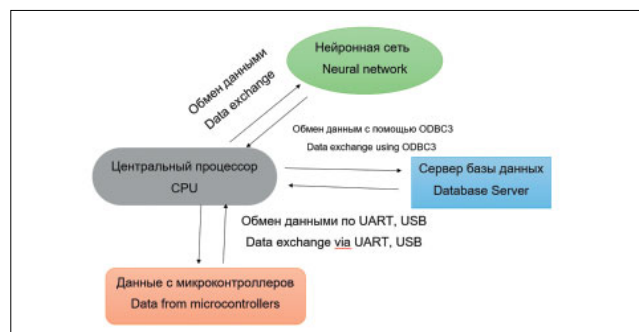


Рис. 8. Алгоритм работы программы

Fig. 8. Program operation algorithm

в режиме реального времени, формируя большие банки данных (*Big Data*) с течением времени, сотрудники ФНАЦ ВИМ разработали и продолжают улучшать нейронную сеть глубокого обучения для качественного анализа. Найти решение проблемы в реальном времени сложно, так как это может зависеть от ее типа, чувствительности и от ожидаемого результата.

Подход мягких вычислений помогает найти решение в непредсказуемой ситуации. Нейронная сеть – одна из мягких техник. Она требует, чтобы веса (коэффициенты приоритетов) нейронной сети были распределены между нейронами для вычисления результата [9, 10]. Одним из наиболее значимых направлений развития современных технических систем контроля и диагностики объектов различного назначения стало совершенствование математического аппарата, используемого для оценки контролируемых параметров [11, 12].

Для наблюдения за системой с целью определения ее особенностей требуется модель системы гибкой структуры с использованием схем идентификации системы. Параметры этой модели следует корректировать до тех пор, пока фактические выходные данные не будут соответствовать измеренным. Модель системы крайне важна для анализа, моделирования, прогнозирования [13, 14].

Для этого используются специальные разработанные функции:

- *Feed Forward* – функция прямого распределения;
- *Back Propagate* – обратное распределение;
- *Update Weights* – обновление весовых коэффициентов.

Функция *Feed Forward* отвечает за стартовую инициализацию нейронной сети, где будут заданы входные, стартовые весовые коэффициенты, а также функция активации. Для активации нейрона используется сигмоидальная функция [15, 16]:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}). \quad (3)$$

У нас в программе она задана в виде:

$$1 / (1 + \exp(-x)),$$

где *exp* – функция стандартной библиотеки языка Си, обозначающий экспоненту.

Функция *Feed Forward* математически представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} I_n &= u_n \cdot w_n; \\ O_n &= f(I_n), \end{aligned} \quad (4)$$

где u_n – входной слой нейронной сети;

I_n – скрытый слой;

O_n – выходной слой;

w_n – весовые коэффициенты между слоями.

Функция *Back Propagate* после вычисления ошибки результата нейронной сети в обратном порядке изменяет весовые коэффициенты начиная с выходного слоя. Схематично ее можно представить так:

$$\delta_{k-1} = w_{nk} \cdot \delta_k + w_{nk+1} \cdot \delta_{k+1}, \quad (5)$$

где δ – дельта слоя.

Update Weights обновляет весовые коэффициенты нейронной сети:

$$W_{t+1} = W_{t-n} \cdot \delta \cdot X, \quad (6)$$

где X – входное значение слоя.

В итоге мы получили программный комплекс на базе нейронной сети, способный собирать и обрабатывать данные, поступающие с датчиков трактора в режиме реального времени, а также проводить интеллектуальный анализ полученных результатов, прогнозировать и оценивать риски. Устройство системы также закладывает возможность непрерывного развития, а значит и постоянной актуальности ее работы и выходных данных [17, 18].

В научной литературе уже описан схожий метод, анализирующий отдельные вращающиеся механизмы с помощью нейронной сети [19]. Отличие нашей нейронной сети в том, что она получает и обрабатывает информацию о полном состоянии техники. Дело в том, что анализ отдельных узлов и агрегатов не дает полной оценки о текущем состоянии машины. Вследствие чего плановое техническое обслуживание будет проведено недостаточно правильно. Кроме того, разработанные специалистами ФНАЦ ВИМ программный комплекс и технические устройства могут быть установлены на сельскохозяйственную или другую технику для контроля диагностических показателей [20, 21].

Выводы. Результатом проделанной работы стал созданный программный комплекс, который позволит увеличить точность диагностирования и прогнозирования неисправностей сельскохозяйственной техники, в частности трактора. Главное преимущество этого комплекса – это нейросеть, способная обрабатывать колоссальный объем информации.

По мере работы программного комплекса и накопления информации нейросеть будет совершенствоваться, улучшится точность. С помощью ее рекомендаций можно корректировать использование техники, повышая ее надежность.

С применением новых диагностических разрабо-

ток (устройство по работе с *CAN* и прототип индикатора пульсации давления насоса) нейросеть будет обучаться быстрее.

Внедрение программного комплекса на базе ней-

ронной сети для контроля диагностических показателей техники обеспечит создание полноценного рабочего диагностического стенда, где можно моделировать работу основных узлов и агрегатов машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорохов А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2009. N2. С. 73-75.
2. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Ивлева И.Б. Совершенствование мониторинга системы «Человек–машина–среда» и правил эксплуатации для повышения эксплуатационной надежности тракторов // *Технический сервис машин*. 2020. N3(140). С. 12-20.
3. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // *Агроинженерия*. 2021. N2(102). С. 45-50.
4. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // *Техника и оборудование для села*. 2020. N11(281). С. 39-43.
5. Саяпин А.С. Экспериментальный счетчик-индикатор для оценки технического состояния насоса гидропривода по амплитудно-фазовому методу // *Технический сервис машин*. 2021. N4(145). С. 76-85.
6. Измайлов А.Ю. Синтез автоматизированных информационных технологий и микропроцессорных систем // *Вестник российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. N5. С. 91-92.
7. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Молибоженко К.К. Повышение уровня технического обслуживания техники // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 27-31.
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics*. 2022. III. 92-101.
9. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Мака-
- кин И.М., Пестряков Е.В., Молибоженко К.К. Оперативная оценка предельного состояния узлов и агрегатов тракторов с применением счетчиков индикаторов // *Технический сервис машин*. 2021. Т. 59. N3(144). С. 12-21
10. Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Обоснование параметров полетного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. N3. С. 33-39.
11. Макаров Р.А., Соколов А.В. Диагностика строительных машин. М.: Стройиздат. 1984. 335 с.
12. Макаркин И.М., Дунаев А.В., Галимов Т.М. Приемы диагностирования редукторов ведущих мостов перспективных автомобилей КАМАЗ // *Автомобильная промышленность*. 2016. N6. С. 27-30.
13. Гриффитс Д., Гриффитс Д. Изучаем программирование на С. М.: Эксмо. 2019. 624 с.
14. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight Assignment Algorithms for Designing Fully Connected Neural Network. *IJISA*. 2018. N6. 68-76.
15. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks. *IJISA*. 2018. N6. 49-58.
16. Сандерс Д., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров: пер. с англ. М.: ДМК Пресс. 2013. 232 с.
17. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. М.: ДМК Пресс, 2019. 232 с.
18. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Г93 Глубокое обучение: пер. с англ. М.: ДМК Пресс. 2018. 652 с.
19. Wanlu Jiang, Chenyang Wang, Jiayun Zou, Shuqing Zhang. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. *Processes*. 2021. N9. 919.
20. Нгуен М.Т. Диагностика автомобильного двигателя на основе нейронной сети // *Молодой ученый*. 2019. N26(264). С. 76-81.
21. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S. Sovershenstvovanie vkhodnogo kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na dilerskikh predpriyatiyakh [Perfection of entrance quality assurance of agricultural machinery at the dealer enterprises]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*. 2009. N2. 73-75. (In Russian).
2. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Ivleva I.B. Sovershenstvovanie monitoringa sistem «Chelovek-mashina-sreda» i pravil ekspluatatsii dlya povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti traktorov [Improving the human-machine-environment monitoring system and operation rules for increasing operational tractor reliability]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. N3(140). 12-20 (In Russian).
3. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intellectuall'naya sistema diagnostirovaniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors]. *Agroinzheneriya*. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian).

4. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Tendentsii razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov [Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N11(281). 39-43 (In Russian).
5. Sayapin A.S. Eksperimental'nyy schetchik-indikator dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya nasosa gidroprivoda po amplitudno-fazovomu metodu [Experimental indicator counter for estimating the technical state of a hydraulic drive pump by amplitude-phase method]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2021. N4(145). 76-85 (In Russian).
6. Izmaylov A.Yu. Sintez avtomatizirovannykh informatsionnykh tekhnologiy i mikroprotssornyykh sistem [Synthesis of automated information technologies and microprocessor systems for production processes]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2007. N5. 91-92 (In Russian).
7. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Molibozhenko K.K. Povyshenie urovnya tekhnicheskogo obsluzhivaniya tekhniki [Increasing the level of maintenance of energy-saturated equipment]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 27-31 (In Russian).
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics*. 2022. III. 92-101 (In English).
9. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Makarkin I.M., Pestryakov E.V., Molibozhenko K.K. Operativnaya otsenka predel'nogo sostoyaniya uzlov i agregatov traktorov s primeneniem schetchikov indikatorov [Operational assessment of the limit state of tractor units with the use of indicator counters]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2021. Vol. 59. N3(144). 12-21 (In Russian).
10. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Obosnovanie parametrov poletnogo zadaniya bespilotnogo vozdušnogo sudna dlya mul'tispektral'noy aerofotosemki [Justifying the parameters for an unmanned aircraft flight missions of multispectral aerial photography]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. N3. 33-39 (In Russian).
11. Makarov R.A., Sokolov A.V. Diagnostika stroitel'nykh mashin [Diagnostics of construction machines]. Moscow: Stroyizdat. 1984. 335 (In Russian).
12. Makarkin I.M., Dunaev A.V., Galimov T.M. Priemy diagnostirovaniya reduktorov vedushchikh mostov perspektivnykh avtomobiley KAMAZ [Some methods of diagnostics of gearboxes axles perspective of KAMAZ vehicles]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016. N6. 27-30 (In Russian).
13. Griffiths D., Griffiths D. Izuchaem programmirovaniye na C [Studying programming in SM]. Moscow: Eksmo. 2019. 624 (In Russian).
14. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight Assignment Algorithms for Designing Fully Connected Neural Network. *IJISA*. 2018. N6. 68-76 (In English).
15. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks. *IJISA*. 2018. N6. 49-58 (In English).
16. Sanders D., Kendrot E. Tekhnologiya CUDA v primerakh. Vvedenie v programmirovaniye graficheskikh protssessorov: per. s ang. [CUDA technology in the examples: An Introduction to GPU]. Moscow: DMK Press. 2013. 232 (In Russian).
17. Borekov A.V., Kharlamov A.A. Osnovy raboty s tekhnologiyey CUDA [Fundamentals of working with CUDA technology]. Moscow: DMK Press, 2019. 232 (In Russian).
18. Gudfellow YA., Bendzhio I., Kurvill' A. G93 Glubokoe obucheniye: per. s ang. [Deep Learning"]. Moscow: DMK Press. 2018. 652 (In Russian).
19. Wanlu Jiang, Chenyang Wang, Jiayun Zou, Shuqing Zhang. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. *Processes*. 2021. N9. 919 (In English).
20. Nguen M.T. Diagnostika avtomobil'nogo dvigatelya na osnove neyronnoy seti [Automotive engine diagnostics based on a neural network]. *Molodoy uchenyy*. 2019. N26(264). 76-81 (In Russian).
21. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Костомакхин М.Н. – постановка задачи, разработка концепции проекта, общее описание принципов работы и дальнейших перспектив развития;

Пестряков Е.В. – разработка программного обеспечения, описание работы программы и нейронной сети, а также структуры базы данных.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Kostomakhin M.N. – problem statement, developing the project concepts, general description of the project principles and further development prospects;

Pestryakov E.V. – software development, description of the program and neural network operation, as well as the database structure.

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

13.09.2022

11.11.2022

Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов

Игорь Геннадьевич Смирнов,

доктор технических наук, заведующий отделом,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;

Геннадий Иванович Личман,

доктор технических наук, главный специалист, e-mail:
litchmangiv@yandex.ru;

Леонид Анатольевич Марченко,

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: marchenko1312@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что для рационального использования пестицидов в промышленном садоводстве необходимо снизить их расход путем локальной обработки каждого объекта, равномерного распределения рабочей жидкости с заданной нормой по всей кроне деревьев и кустарников. В ходе анализа технического оснащения современного промышленного садоводства в России выявили недостаточный уровень механизации в аспекте управления параметрами как технологического процесса, так и технических средств. (*Цель исследования*) Разработать алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя при обработке плодовых насаждений пестицидами, обеспечивающих их качественное внесение, снижение потерь и уменьшение рисков загрязнения окружающей среды. (*Материалы и методы*) Использовали аналитические методы оптимизации прикладной математики, теории выбора параметров мобильных сельскохозяйственных машин, критерии оценки качества распределения рабочей жидкости при обработке плодовых насаждений, данные о форме кроны обрабатываемых деревьев и кустарников. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что количество рабочей жидкости, поступающей на единицу длины периметра, и качество распределения зависят от формы эпюры факела распыла, величины перекрытия эпюр распределения, расстояния штанги от оси симметрии дерева или кустарника, удаленности форсунок от штанги, формы эпюры распределения. Получили аналитические зависимости для расчета нормы (дозы) внесения пестицидов и качества их распределения по обрабатываемой поверхности. (*Выводы*) Разработали алгоритм аналитического расчета параметров штангового садового опрыскивателя, позволяющий оценить влияние на дозу внесения пестицидов и на качество распределения рабочей жидкости пестицидов, характеризуемое коэффициентом вариации. При этом учитывали параметры: эпюру распределения рабочей жидкости пестицидов, количество форсунок на вертикальной штанге опрыскивателя, высоту их расположения на штанге, расстояние от штанги до поверхности кроны, удаленность штанги от ствола обрабатываемого дерева, периметр кроны. Провели верификацию алгоритма при конкретных значениях параметров: расстоянии от вертикальной штанги до оси ствола дерева (кустарника) и форсунок до вертикальной штанги 1,0 и 0,5 метра, высоте расположения форсунок на вертикальной штанге 0,3, 0,8 и 1,3 метра, расходе рабочей жидкости 2,5 литра в минуту, коэффициенте, характеризующем эпюру распределения, 5,61. Рассчитали дозу внесения рабочего раствора пестицида – 174,6 литра на гектар при коэффициенте вариации 4,94 процента, что соответствует агротехническим требованиям на обработку пестицидами плодовых деревьев и кустарников.

Ключевые слова: штанговый садовый опрыскиватель, плодовые насаждения, пестициды, доза внесения пестицидов, качество распределения рабочей жидкости, эпюра распределения рабочей жидкости пестицидов.

■ **Для цитирования:** Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко Л.А. Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 26-33. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33. EDN XKNQDU.

Algorithm for Calculating the Parameters of a Garden Boom Sprayer for Pesticide Application

Igor G. Smirnov,

Dr.Sc.(Eng.), head of department,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;

Gennadiy I. Lichman,

Dr.Sc.(Eng.), senior specialist,
e-mail: litchmangiv@yandex.ru;

Leonid A. Marchenko,

Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: marchenko1312@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It is noted that for the rational use of pesticides in industrial horticulture, it is necessary to reduce their consumption practicing the local treatment of each plant, uniform distribution of the working fluid at a set rate while treating a tree's or a shrub's crown. The analysis of the technical equipment of modern industrial horticulture in Russia reveals an insufficient level of mechanization in terms of managing the parameters of both the technological process and machinery. (*Research purpose*) To develop an algorithm for calculating the parameters of a boom garden sprayer when treating fruit plants with pesticides, to ensure their high-quality application, reduce losses and eliminate the risks of environmental pollution. (*Materials and methods*) The research is based on analytical methods of optimization offered by applied mathematics, the theory of choosing the parameters of agricultural mobile machines, criteria for assessing the quality of the working fluid distribution during the fruit plant treatment, data on the crown shape of the trees and shrubs being cultivated. (*Results and discussion*) It was established that the amount of working fluid per unit length of the perimeter and the quality of distribution depend on the shape of the spray jet distribution diagram, the degree of the distribution diagrams overlap, the distance between the boom and the tree's or shrub's axis of symmetry, the distance of the nozzles from the boom, the shape of the distribution diagram. Analytical dependencies were obtained to calculate the rate (dose) of pesticides and the quality of their distribution over the treated surface. (*Conclusions*) An algorithm for the analytical calculation of a boom garden sprayer parameters was developed, which makes it possible to evaluate the impact on the rate of applying pesticides and on the quality of distributing the pesticide working liquid, characterized by the variation coefficient. At the same time, the following parameters were taken into account: the distribution diagram of the pesticide working fluid, the number of nozzles on the vertical sprayer boom, the height of their location on the boom, the distance from the boom to the crown surface, the distance between the boom and the trunk of the tree treated, the crown perimeter. The algorithm was verified for specific parameter values: the distance of 1.0 meter from the vertical boom to the axis of the tree (shrub) trunk; the distance of 0.5 meter between the nozzles and the vertical bar, the height of the nozzles on the vertical bar of 0.3, 0.8 and 1.3 meter, the working fluid flow rate of 2.5 liters per minute, the coefficient characterizing the distribution diagram of 5.61. The dose of the pesticide working solution to apply was calculated as follows: 174.6 liters per hectare with a coefficient of variation of 4.94 percent, which corresponds to the agrotechnical requirements.

Keywords: boom garden sprayer, fruit plants, pesticides, pesticide application dose, quality of working fluid distribution, diagram of the pesticide working fluid distribution.

■ For citation: Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko L.A. Algoritm rascheta parametrov shtangovogo sadovogo opryskivatelya dlya vnoseniya pestitsidov [Algorithm for calculating the parameters of a garden boom sprayer for applying pesticides]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 26-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33. EDN XKNQDU.

Анализ технического оснащения современного промышленного садоводства в России и за рубежом показал недостаточный уровень механизации производственных процессов, в частности, при обработке средствами защиты растений многолетних насаждений в питомниках, садах, на промышленных плантациях [1-3].

Машины для защиты растений от вредителей и болезней в перспективном саду интенсивного типа должны быть многорядными. При ширине междурядий до 5 м тракторный агрегат может обрабатывать рабочими жидкостями пестицидов одновременно не менее 4 рядов деревьев и ягодных кустарников. Процесс защиты растений будет высокопроизводительным, а большинство междурядий останутся свободными от прохождения тракторного агрегата. Основное внимание при создании инновационных опрыскивателей следует уделять качеству распыла пестицидов и повышению степени их использования по целевому назначению [4-6].

В отечественном садоводстве применяют в основном опрыскиватели вентиляторного типа. Один из их

недостатков – потери 30-90% рабочей жидкости в зависимости от степени развития листового аппарата [7]. К тому же недостаточное качество обработки многолетних насаждений приводит к потерям урожая, излишнему перерасходу пестицидов, превышению их предельно допустимых концентраций в плодах, загрязнению окружающей среды [8].

Для рационального использования пестицидов в промышленном садоводстве необходимо в первую очередь снизить количество вносимых пестицидов, равномерно распределить их по всей кроне деревьев и кустарников при заданной норме рабочей жидкости [9-11].

Современный уровень развития технологии производства плодовой и ягодной продукции предопределяет управление параметрами технологических процессов возделывания, защиты плодовых насаждений [12-14]. Наличие технических средств, оборудованных системами навигации, технического зрения, датчиками, позволяют оценивать размер деревьев или кустарников, форму кроны, степень поражения вредителями и болезнями, их распространение по кро-

не и дифференцировано обрабатывать пестицидами плодовые насаждения [15-17].

Для обеспечения качества обработки пестицидами многолетних насаждений в питомниках, садах, на промышленных плантациях, минимизации потерь пестицидов и их вредного воздействия на окружающую среду необходимо разработать алгоритм и аналитические зависимости для расчета норм (доз) внесения рабочей жидкости пестицидов и их качественного распределения с учетом формы кроны деревьев, эпюра распределения рабочей жидкости, типа и количества форсунок, конструктивно-технологических параметров [18-20].

Цель исследования – разработать алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя при обработке плодовых насаждений пестицидами, обеспечивающих их качественное внесение, снижение потерь и уменьшение рисков загрязнения окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для соблюдения заданной дозы и требуемого качества распределения рабочей жидкости пестицида при опрыскивании плодовых насаждений необходимо учитывать следующие конструктивные и технологические параметры опрыскивателя: расстояние штанги от ствола дерева, высоты размещения форсунок, их удаленность от штанги и производительность [21-24] (рис. 1).

При решении задачи использовали аналитические методы оптимизации прикладной математики, тео-

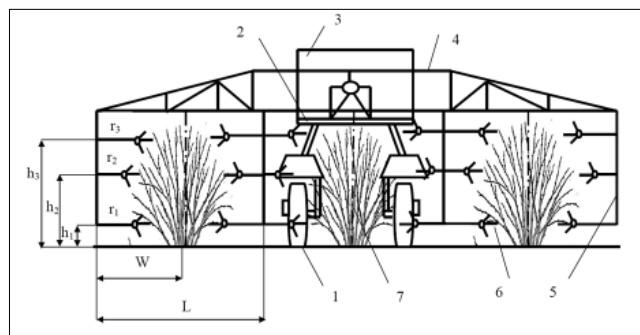


Рис. 1. Технологическая схема опрыскивания штанговым садовым опрыскивателем 1 – шасси опрыскивателя; 2 – рама опрыскивателя; 3 – бак для пестицидов; 4 – горизонтальная штанга; 5 – вертикальная штанга; 6 – форсунка; 7 – плодое дерево (кустарник); w – расстояние от вертикальной штанги до оси ствола дерева (кустарника); L – расстояние между вертикальными штангами; r_1, r_2, r_3 – расстояние от форсунок до вертикальной штанги; h_1, h_2, h_3 – высота расположения форсунок на вертикальной штанге

Fig. 1. Technological scheme of spraying with a boom garden sprayer: 1 – sprayer chassis; 2 – sprayer frame; 3 – tank for pesticides; 4 – horizontal boom; 5 – vertical boom; 6 – nozzle; 7 – fruit tree (shrub); w – the distance from the vertical boom to the axis of the tree trunk (shrub); L – the distance between the vertical booms; r_1, r_2, r_3 – distance from the nozzles to the vertical boom; h_1, h_2, h_3 – the height of the nozzles on the vertical boom

рии выбора параметров мобильных сельскохозяйственных машин, критерии оценки качества распределения рабочей жидкости при обработке плодовых насаждений. Изучили данные о форме кроны обрабатываемых плодовых деревьев и кустарников и ее математическое описание в принятой системе координат, типы и характеристики форсунок. Рассмотрены случаи обработки рабочими растворами пестицидов деревьев и кустарников при плоской и криволинейной форме кроны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Распределение массы рабочей жидкости пестицидов по ширине факела распыла форсункой щелевого типа характеризуется функцией $q = q(x)$, имеющей один экстремум. Тогда эпюра распределения описывается полиномом второй степени (параболой).

В случае криволинейной формы кроны задача усложняется из-за того, что происходит взаимодействие эпюры распределения массы $q = q(x)$ с кривой, описывающей параметр кроны: $\varphi(x) = ax^2 + \beta x + \gamma$.

Рассмотрим последовательность действий по определению параметров опрыскивателя.

В случае обработки плоской кроны средняя доза $D_{\text{ср}}$ рабочей жидкости, поступающей на крону, и качество ее распределения, характеризуемое коэффициентом вариации V , зависят от производительности форсунок q , эпюры распределения $q(x)$, удаленности форсунок от периметра кроны r_1 , высоты расположения форсунок на штанге h_1 , а также от высоты дерева.

Рассмотрим вариант распределения массы рабочей жидкости при работе трех форсунок (рис. 2).

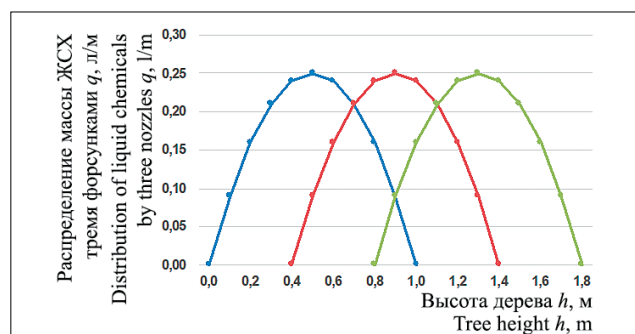


Рис. 2. Схема расположения трех эпюр распределения массы жидких средств химизации при обработке плоской кроны ($q_1(x)$, $q_2(x)$, $q_3(x)$ – уравнения факелов распыла 1-й, 2-й и 3-й форсунок)

Fig. 2. Three diagrams of liquid chemical distribution during the treatment of a flat crown ($q_1(x)$, $q_2(x)$, $q_3(x)$ are spray jet equations for the 1st, 2nd and 3rd nozzles)

Эпюры факелов распыла в принятой системе координат описываются уравнениями вида:

$$q(x) = a(x - 1/2)^2 + (w - r),$$

где a – эмпирический коэффициент, характеризующий форму эпюры распределения;

l – ширина факела распыла, м;
 w – расстояние от вертикальной штанги до оси ствола дерева (кустарника), м;
 r – расстояние от распылителя до вертикальной штанги, м.

С учетом перекрытия смежных эпюр распределения (от трех форсунок) в приведенной системе координат они описываются системой уравнений:

$$\begin{aligned} q_1 &= a(x - l/2)^2 + (w - r_3); \quad 0 \leq x \leq l; \\ q_2 &= a(x - l/2 - l + n_1)^2 + (w - r_2); \quad l - n \leq x \leq 2l - n; \quad (2) \\ q_3 &= a(x - l/2 - 2l + n_1 + n_2)^2 + (w - r_1); \\ 2l - n &\leq x \leq 3l - 2n, \end{aligned}$$

где n_i – величины перекрытия двух смежных эпюр.

Величина перекрытий n_i зависит от расстояния между форсунками (высоты расположения h_i). На нее влияет также расстояние форсунок от обрабатываемой поверхности, которое равно: $w - r_i$. Величина ширины факела распыла l также зависит от w и r_i .

Используя (1) и (2), запишем зависимость, описывающую изменение дозы внесения рабочей жидкости по высоте дерева:

$$\begin{aligned} D_{\text{ср}} &= \frac{3q}{3l-2n} \left\{ \int_0^{l-n} \left[-a\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + (w-r) \right] dx + \right. \\ &+ \int_{l-n}^l \left\{ \left[-a\left(x - \frac{l}{2} - l + n\right)^2 + (w-r) \right] + \right. \\ &\left. \left[-a\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + (w-r) \right] \right\} dx + \int_l^{\frac{3}{2}l-n} \\ &\left. \left[-a\left(x - \frac{l}{2} - l + n\right)^2 + (w-r) \right] dx + \int_{\frac{3}{2}l-n}^{2l-n} \right. \\ &\left. \left\{ \left[-a\left(x - \frac{l}{2} - 2l + 2n\right)^2 + (w-r) \right] + \right. \right. \\ &\left. \left. \left[-a\left(x - \frac{l}{2} - l + n\right)^2 + (w-r) \right] \right\} dx + \int_{2l-n}^{3l-2n} \right. \\ &\left. \left[-a\left(x - \frac{l}{2} - 2l + 2n\right)^2 + (w-r) \right] dx. \right. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате суммирования трех эпюр распределения рабочей жидкости от трех форсунок по высоте кроны получили суммарную эпюру распределения $D_{\text{сум}}(x)$ (рис. 3).

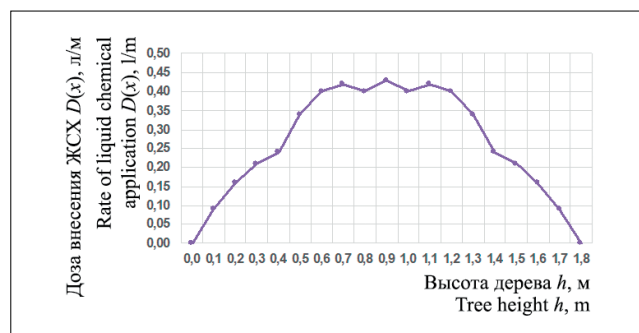


Рис. 3. Суммарная эпюра распределения рабочей жидкости по высоте кроны $D_{\text{сум}}(x)$

Fig. 3. The total diagram of the distribution of the working fluid along the of the crown height $D_{\text{tot}}(x)$

Среднюю дозу внесения $D_{\text{ср}}$ найдем, проинтегрировав уравнение (3). Будем рассматривать случай, когда производительность и эпюры распределения форсунок одинаковы, перекрытия $n_1 = n_2 = n$ и расстояние от распылителя до вертикальной штанги $r_1 = r_2 = r_3 = r$. В этом случае средняя доза может быть описана функционалом:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ср}} [q(x), a, r, w, n]. \quad (4)$$

Качество распределения рабочей жидкости пестицидов по ширине захвата характеризуется коэффициентом вариации V :

$$V = \frac{S}{D_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{\int_0^{3l-2n} [D(x) - D_{\text{ср}}(q, a, r, w, n)]^2 dx}}{D_{\text{ср}}(q, a, r, w, n)}, \quad (5)$$

где S – среднее квадратическое отклонение дозы.

Величина коэффициента вариации V зависит от характеристик форсунки, а также от конструктивных и технологических параметров опрыскивателя. Оптимальные показатели можно определить в результате решения неравенства:

$$V = \frac{S}{D_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{\int_0^{3l-2n} [D(x) - D_{\text{ср}}(q, a, r, w, n)]^2 dx}}{D_{\text{ср}}(q, a, r, w, n)} \leq V_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{доп}}$ – допустимый коэффициент вариации распределения пестицидов по обрабатываемой поверхности кроны (задается агротехническими требованиями).

При выводе формул (5) и (6) для определения $V_{\text{доп}}$ учитывали симметричность эпюр распределения.

Полученные функциональные зависимости позволяют, зная параметры q и a одной эпюры распределения, аналитически находить оптимальные значения:

- величины перекрытия эпюр распределения n или места расположения их на штанге h_i ;
- расстояния штанги от оси симметрии объекта обработки w ;
- удаленности форсунок от штанги r , обеспечивающей допустимое значение коэффициента вариации распределения пестицидов по обрабатываемой поверхности кроны.

Представленный выше алгоритм применим и для случая, когда обрабатываемая поверхность криволинейна (рис. 4).

Будем считать, что периметр кроны описывается полиномом второй степени, например параболой:

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + \gamma. \quad (7)$$

Количество рабочей жидкости, поступающей на единицу длины периметра кроны и качество распределения зависят от:

- формы эпюры факела распыла $q = q(x)$;
- величины перекрытия эпюр распределения;
- расстояния штанги от оси симметрии дерева w ;

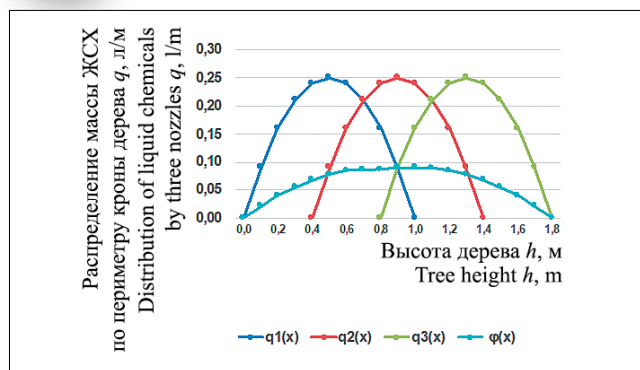


Рис. 4. Характер взаимодействия факелов распыла рабочей жидкости с кроной: $q_1(x)$, $q_2(x)$, $q_3(x)$ – уравнения факелов распыла 1-й, 2-й и 3-й форсунок; $\varphi(x)$ – уравнение периметра кроны дерева; A, B, C, D, E, F – точки пересечения эюр факелов распыла жидких средств химизации с кривой, описывающей периметр кроны дерева

Fig. 4. The nature of the interaction of the working fluid spray jets with the crown: $q_1(x)$, $q_2(x)$, $q_3(x)$ – equations for the spray jets of the 1st, 2nd and 3rd nozzles; $\varphi(x)$ – tree crown perimeter equation; A, B, C, D, E, F – intersection points of the diagrams for liquid chemical spray jets with the curve of the tree crown perimeter

- удаленности форсунок от штанги r_i ;
- эмпирического коэффициента a , характеризующего форму эюры распределения, обеспечивающего минимальное значение коэффициента вариации распределения рабочей жидкости пестицидов по обрабатываемой поверхности.

Вид функции $\varphi(x)$ определяется в результате статистического анализа формы крон.

Рассмотрим, как может меняться доза и качество обработки от технических и технологических параметров опрыскивателя. Для этого необходимо определить изменения дозы $D(s)$ вдоль периметра кроны, где s – точка на кривой периметра. Будем считать, что эюры распределения $q_i = q_i(x)$ описываются параболой (2).

В случае перекрытия эюр будет 5 или 6 точек их пересечения с кривой, описывающей периметр: A, B, C, D, E, F (рис. 4).

Обозначим координаты точек по оси X: x_A , x_B , x_C , x_D , x_E , x_F .

Для расчета координат точек пересечения эюры распределения с периметром кроны представим эюры в следующем виде:

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1(r_1, h_1, w)x^2 + b_1(r_1, h_1, w) + c_1(r_1, h_1, w); \\ y_2 &= a_2(r_2, h_2, w)x^2 + b_2(r_2, h_1, w) + c_2(r_2, h_2, w); \\ y_3 &= a_3(r_3, h_3, w)x^2 + b_3(r_3, h_3, w) + c_3(r_3, h_3, w). \end{aligned} \quad (8)$$

Из уравнений (8) следует, что форма эюр распределения определяется коэффициентами a_i , b_i , c_i , которые в свою очередь зависят от технических и технологических характеристик опрыскивателя r_i , h_i , w .

Координату x_{i12} пересечения нижней x_{i1} и верхней

x_{i2} части эюры i -й форсунки с периметром кроны, описываемой уравнением $\varphi(x) = ax^2 + \beta x + \gamma$, определяем по формуле:

$$x_{i12} = \frac{-(\beta - b_i) \pm \sqrt{(\beta - b_i)^2 - 4(\alpha - a_i) \cdot (\gamma - b_i)}}{2(\alpha - a_i)}, \quad (9)$$

где α , β , γ , a_i , b_i – коэффициенты, характеризующие периметр кроны и эюру распределения рабочей жидкости i -й форсунки.

Зная начальную координату периметра кроны x_A и конечную x_F , находим среднюю дозу по формуле:

$$D_{cp} = \frac{3q}{S_{AF}} = \frac{3q}{\int_{x_A}^{x_F} \sqrt{1 + \left(\frac{d\varphi(x)}{dx}\right)^2} dx}. \quad (10)$$

Коэффициент вариации дозы по периметру кроны равен:

$$V = \frac{S}{D_{cp}} = \frac{\sqrt{\int_{x_A}^{x_F} [D(s) - D_{cp}(q, a, r_i, h_i, w, n)]^2 dx}}{D_{cp}(q, a, r_i, h_i, w, n)}. \quad (11)$$

Его величина зависит от параметров форсунки, а также от технических и технологических параметров опрыскивателя. Оптимальные параметры вычисляются в результате решения неравенства:

$$V = \frac{S}{D_{cp}} = \frac{\sqrt{\int_{x_A}^{x_F} [D(s) - D_{cp}]^2 dx}}{D_{cp}(q, a, r_i, h_i, w, n)} \leq V_{доп}. \quad (12)$$

Для проведения расчетов по определению оптимальных параметров опрыскивателя преобразуем полученные формулы, записав величину перекрытия эюр распределения p через параметры h_1 , h_2 и h_3 , характеризующие место размещения форсунок на штанге опрыскивателя

Выразив расстояние между форсунками 1 и 2 с учетом перекрытия n_1 и n_2 через Δh_1 , а между форсунками 2 и 3 – через Δh_2 , получим:

$$\begin{aligned} n_1 &= l - (h_2 - h_1), \\ n_2 &= l - (h_3 - h_2). \end{aligned} \quad (13)$$

Приравняв n_1 и n_2 , получим условие, при котором перекрытия будут равны:

$$(h_2 - h_1) = (h_3 - h_2). \quad (14)$$

Подставив значения n_1 и n_2 , выраженные через l , h_1 , h_2 , h_3 , в формулы (2) и (6), после преобразований получим:

$$V = \frac{S}{D_{cp}} = \frac{\sqrt{\int_{x_A}^{x_F} [D(s) - D_{cp}(q, a_1, a_2, a_3, r_1, r_2, r_3, h_1, h_2, h_3, w)]^2 dx}}{D_{cp}(q, a_1, a_2, a_3, r_1, r_2, r_3, h_1, h_2, h_3, w)} \leq V_{доп}. \quad (15)$$

Характеристики периметра кроны α , β , γ (коэффициенты уравнения $\varphi(x) = ax^2 + \beta x + \gamma$) входят в пределы интегрирования x_A , x_F , которые вычисляются по формуле (9).

Верификацию разработанного алгоритма проводили для различных технологических и технических параметров опрыскивателя. Например, если $w = 1$ м, $r_1 = r_2 = r_3 = 0,5$ м, $q = 2,5$ л/мин, $a = 5,61$, $h_1 = 0,3$ м,

$h_2=0,8$ м, $h_3=1,3$ м, то средняя доза внесения рабочего раствора пестицида $D_{cp} = 174,6$ л/га ($0,017$ л/м²), коэффициент вариации $V = 4,94\%$.

Выводы. Разработали алгоритм аналитического расчета параметров штангового садового опрыскивателя, позволяющий оценить влияние на дозу внесения пестицидов и на качество распределения рабочей жидкости пестицидов, характеризующее коэффициентом вариации, с учетом параметров: эпюры распределения рабочей жидкости пестицидов, количества форсунок на вертикальной штанге опрыскивателя, высоты их расположения на штанге, расстояния от штанги до поверхности кроны, удаленности штан-

ги от ствола обрабатываемого дерева, периметра кроны. В результате верификации алгоритма при конкретных значениях параметров: расстоянии от вертикальной штанги до оси ствола дерева (кустарника) и форсунок до вертикальной штанги 1,0 и 0,5 м, высоте расположения форсунок на вертикальной штанге 0,3; 0,8 и 1,3 м, расходе рабочей жидкости 2,5 л/мин, коэффициенте, характеризующем эпюру распределения, 5,61 рассчитали дозу внесения рабочего раствора пестицида. Она равна 174,6 л/га при коэффициенте вариации 4,94%, что соответствует агротехническим требованиям на обработку пестицидами плодовых деревьев и кустарников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Куликов И.М., Утков Ю.А., Бычков В.В. Техническое оснащение современного промышленного садоводства и перспективы его совершенствования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. №5. С. 3-8.
- Утков Ю.А. Исторические достижения, проблемы и перспективы развития промышленного садоводства России в современных условиях // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2015. Т. 42. С. 219-223.
- Wang W.Z., Hong T.S., Li J., Zhang F.G., Lu Y.C. Review of the pesticide precision orchard spraying technologies. *Transactions of the CSAE*. 2004. Vol. 20. 78-80.
- Al Heidary M., Douzals J.P., Sinfort C., Vallet A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop Protection*. 2014. Vol. 637. 120-130.
- Duga A.T., Ruysen K., Dekeyser D., Nuytens D., Bylemans D., Nicolai B., Verboven P. Spray deposition profiles in pome fruit trees: Effects of sprayer design, training system and tree canopy characteristics. *Crop Protection*. 2015. Vol. 67. 200-213.
- Cross J., Walklate P., Murray R., Richardson G. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. *Crop Protection*. 2001b. Vol. 20(4). 333-343.
- Kasner E.J., Fenske R.A., Hoheisel G.A., Galvin K., Blanco M.N., Seto E.Y., and Yost M.G. 2018. Spray drift from a conventional axial fan airblast sprayer in a modern orchard work environment. *Annals of Work Exposure and Health*. 2015. Vol. 62(9). 1134-1146.
- Blanco M.N., Fenske R.A., Kasner E.J., Yost M.G. E. Seto, Austin E. Real-time monitoring of spray drift from three different orchard sprayers. *Chemosphere*. 2019. Vol. 222. 46-55.
- Chen L., Wallhead M., Zhu H., Fulcher A. Control of insects and diseases with intelligent variable-rate sprayers in ornamental nurseries. *Journal of Environmental Horticulture*. 2019. Vol. 37(3). 90-100.
- Zhang X., Luo Y., Goh K.S. Modeling spray drift and runoff-related inputs of pesticides to receiving water. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 234. 48-58.
- Patel M.K. Technological improvements in electrostatic spraying and its impact to agriculture during the last decade and future research perspectives – A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2016. 9. 92-100.
- Escola A., Rosell-Polo J.R., Planas S., Gil E., Pomar J., Camp F., Llorens J., Solanelles F. Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013. Vol. 95. 122-135.
- Chen, L., M. Wallhead, H. Zhu, and A. Fulcher. Control of insects and diseases with intelligent variable-rate sprayers in ornamental nurseries. *Journal of Environmental Horticulture*. 2019. Vol. 37(3). 90-100.
- Chen Y., Ozkan H.E., Zhu H., Derksen R.C., Krause C.R. Spray deposition inside tree canopies from a newly developed variable-rate air-assisted sprayer. *Transactions of the ASABE*. 2013. Vol. 56(6). 1263-1272.
- Solanelles F., Escola A., Planas S., Rosell J.R., Camp F., Gracia F. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. *Biosystems Engineering*. 2006. Vol. 95. 473-481.
- Holownicki R., Doruchowski G., Swiechowski W., Godyn A., Konopacki P.J. Variable air assistance system for orchard sprayers; concept, design and preliminary testing. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 163. 134-149.
- Jeon H.Y., Zhu H., Derksen R.C., Ozkan H.E., Krause C.R., Fox R.D. Performance evaluation of a newly developed variable-rate sprayer for nursery liner applications. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2011. Vol. 54(6). 1997-2007.
- Zaidner G., Shapiro A. A novel data fusion algorithm for low-cost localisation and navigation of autonomous vineyard sprayer robots. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 146. 133-148.
- Lee I.N., Lee K.H., Lee J.H., You K.H. Autonomous greenhouse sprayer navigation using automatic tracking algorithm. *Applied Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 31. N1. 17-21.
- Jadav C.V., Jain K.K., Khodifad B.C. Spray of Chemicals as Affected by Different Parameters of Air Assisted Sprayer: A Review. *Current Agriculture Research Journal*. 2019. Vol. 7. 289-295.
- Pergher G., Petris R. Novel air-assisted tunnel sprayer for

- vineyards: optimization of operational parameters and first assessment in the Field. *Journal of Agricultural Engineering*. 2009. Vol. 146. 133-148.
22. Ahmad F., Qiu B., Dong, X., Ma, J., Huang X., Ahmed S., Ali Chandio F. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 172. 105-350.
23. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
24. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 46-55.

REFERENCES

1. Kulikov I.M., Utkov Yu.A., Bychkov V.V. Tekhnicheskoe osnashchenie sovremennogo promyshlennogo sadovodstva i perspektivy ego sovershenstvovaniya [Technical equipment of modern industrial horticulture and prospects for its improvement]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010. N5. 3-8 (In Russian).
2. Utkov Yu.A. Istoricheskie dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya promyshlennogo sadovodstva Rossii v sovremennykh usloviyakh [Historical achievements, problems and prospects of commercial horticulture of Russia in contemporary conditions]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2015. Vol. 42. 219-223 (In Russian).
3. Wang W.Z., Hong T.S., Li J., Zhang F.G., Lu Y.C. Review of the pesticide precision orchard spraying technologies. *Transactions of the CSAE*. 2004. Vol. 20. 78-80 (In English).
4. Al Heidary M., Douzals J.P., Sinfort C., Vallet A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop Protection*. 2014. Vol. 637. 120-130 (In English).
5. Duga A.T., Ruysen K., Dekeyser D., Nuytens D., Bylemans D., Nicolai B., Verboven P. Spray deposition profiles in pome fruit trees: Effects of sprayer design, training system and tree canopy characteristics. *Crop Protection*. 2015. Vol. 67. 200-213 (In English).
6. Cross J., Walklate P., Murray R., Richardson G. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. *Crop Protection*. 2001b. Vol. 20(4). 333-343 (In English).
7. Kasner E.J., Fenske R.A., Hoheisel G.A., Galvin K., Blanco M.N., Seto E.Y. and Yost M.G. 2018. Spray drift from a conventional axial fan airblast sprayer in a modern orchard work environment. *Annals of Work Exposure and Health*. 2015. Vol. 62(9). 1134-1146 (In English).
8. Blanco M.N., Fenske R.A., Kasner E.J., Yost M.G. Seto E., Austin E. Real-time monitoring of spray drift from three different orchard sprayers. *Chemosphere*. 2019. Vol. 222. 46-55 (In English).
9. Chen L., Wallhead M., Zhu H., Fulcher A. Control of insects and diseases with intelligent variable-rate sprayers in ornamental nurseries. *Journal of Environmental Horticulture*. 2019. Vol. 37(3). 90-100 (In English).
10. Zhang X., Luo Y., Goh K.S. Modeling spray drift and runoff-related inputs of pesticides to receiving water. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 234. 48-58 (In English).
11. Patel M.K. Technological improvements in electrostatic spraying and its impact to agriculture during the last decade and future research perspectives – A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2016. 9. 92-100 (In English).
12. Escola A., Rosell-Polo J.R., Planas S., Gil E., Pomar J., Camp F., Llorens J., Solanelles F. Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013. Vol. 95. 122-135 (In English).
13. Chen, L., Wallhead M., Zhu H. and Fulcher A. Control of insects and diseases with intelligent variable-rate sprayers in ornamental nurseries. *Journal of Environmental Horticulture*. 2019. Vol. 37(3). 90-100 (In English).
14. Chen Y., Ozkan H.E., Zhu H., Derksen R.C., Krause C.R. Spray deposition inside tree canopies from a newly developed variable-rate air-assisted sprayer. *Transactions of the ASABE*. 2013. Vol. 56(6). 1263-1272 (In English).
15. Solanelles F., Escola A., Planas S., Rosell J.R., Camp F., Gracia F. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. *Biosystems Engineering*. 2006. Vol. 95. 473-481 (In English).
16. Holownicki R., Doruchowski G., Swiechowski W., Godyn A., Konopacki P.J. Variable air assistance system for orchard sprayers; concept, design and preliminary testing. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 163. 134-149 (In English).
17. Jeon H.Y., Zhu H., Derksen R.C., Ozkan H.E., Krause C.R., Fox R.D. Performance evaluation of a newly developed variable-rate sprayer for nursery liner applications. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2011. Vol. 54(6). 1997-2007 (In English).
18. Zaidner G., Shapiro A. A novel data fusion algorithm for low-cost localisation and navigation of autonomous vineyard sprayer robots. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 146. 133-148 (In English).
19. Lee I.N., Lee K.H., Lee J.H., You K.H. Autonomous greenhouse sprayer navigation using automatic tracking algorithm. *Applied Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 31. N1. 17-21 (In English).
20. Jadav C.V., Jain K.K., Khodifad B.C. Spray of Chemicals as Affected by Different Parameters of Air Assisted Sprayer: A Review. *Current Agriculture Research Journal*. 2019. Vol. 7. 289-295 (In English).
21. Pergher G., Petris R. Novel air-assisted tunnel sprayer for vineyards: optimization of operational parameters and first assessment in the Field. *Journal of Agricultural Engineering*

- ing. 2009. Vol. 146. 133-148 (In English).
22. Ahmad F., Qiu B., Dong, X., Ma, J., Huang X., Ahmed S., Ali Chandio F. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 172. 105-350 (In English).
 23. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 24. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozдание i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 46-55.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад авторов:

Смирнов И.Г. – научное руководство исследованием, постановка задачи, определение конфигурации алгоритма, разработка теоретических предпосылок, анализ полученных результатов, подготовка текста статьи, формулирование выводов;

Личман Г.И. – разработка алгоритма аналитического расчета, обсуждение и анализ полученных результатов, подготовка текста статьи, формулирование выводов;

Марченко Л.А. – анализ априорной информации, подготовка исходных данных, выбор и обоснование основных исследуемых параметров, обсуждение и анализ полученных результатов, подготовка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Smirnov I.G. – scientific guidance, problem statement, determining the algorithm configuration, development of theoretical premises, analysis of the results, preparing the paper manuscript, formulating the conclusions;

Lichman G.I. – development of an analytical calculation algorithm, discussion and analysis of the results obtained, preparing the paper manuscript, formulating the conclusions;

Marchenko L.A. – a priori information analysis, preparing the initial data, selection and justification of the main study parameters, discussion and analysis of the results obtained, preparing the paper 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

07.09.2022
03.11.2022

Разработка конструкции щелевого сельскохозяйственного распылителя и исследование его выходных параметров

Виктория Эдуардовна Славкина,
младший научный сотрудник,
e-mail: vicktoria.slavkina@yandex.ru;
Алексей Сергеевич Свиридов,
младший научный сотрудник,
e-mail: sviridov.vim@ya.ru;

Гриша Арумугам,
ведущий инженер, e-mail: vim164@yandex.ru;
Юлия Александровна Гончарова,
научный сотрудник, e-mail: lopatina.julia@yandex.ru;
Руслан Михайлович Касимов,
инженер, e-mail: ruslankm@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что применение некачественных распылителей для внесения пестицидов может привести к снижению урожайности и негативным экологическим последствиям. Отметили, что использование изношенных форсунок ухудшает эффективность обработки растений, так как отклонение от нормы расхода средств защиты растений достигает 30-60 процентов. Отметили, что наиболее часто в России применяют распылители иностранного производства, поскольку отечественных аналогов, обеспечивающих схожие выходные параметры, не существует. *(Цель исследования)* Исследовать выходные параметры разработанного щелевого сельскохозяйственного распылителя и сравнить их с показателями передовых импортных аналогов. *(Материалы и методы)* Опытный образец разработанного распылителя изготовили из бронзы с применением механической обработки. Исследовали его на специальном стенде в сравнении с эталонным полимерным распылителем. Измерили расход рабочей жидкости и угол распыла, а также размеры сопла, для чего применили оптическую микроскопию. *(Результаты и обсуждение)* Установили, что в среднем расход рабочей жидкости у опытного образца распылителя, изготовленного из бронзы, в 1,7 раза больше, чем у эталонного полимерного распылителя, а угол распыла меньше на 37,16 градуса. Исследование сопел распылителей с помощью оптического микроскопа позволило выявить различия в форме и размерах. *(Выводы)* Определили, что разработанная конструкция распылителя нуждается в доработке: форма сопла должна быть скорректирована до эллипсовидной, размеры сопла следует уменьшить.

Ключевые слова: опрыскивание, щелевой сельскохозяйственный распылитель, расход рабочей жидкости, факел распыла, диаметр сопла.

■ **Для цитирования:** Славкина В.Э., Свиридов А.С., Арумугам Г., Гончарова Ю.А., Касимов Р.М. Разработка конструкции щелевого сельскохозяйственного распылителя и исследование его выходных параметров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 34-37. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-34-37. EDN AZUODK.

Developing the Design for a Slotted Agricultural Sprayer and Studying Its Output Parameters

Victoria E. Slavkina*,
junior researcher,
e-mail: vicktoria.slavkina@yandex.ru;
Alexey S. Sviridov,
junior researcher,
e-mail: sviridov.vim@ya.ru;

Grisha Arumugam,
leading engineer, e-mail: vim164@yandex.ru;
Yulia A. Goncharova,
researcher, e-mail: lopatina.julia@yandex.ru;
Ruslan M. Kasimov,
engineer, e-mail: ruslankm@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It is shown that the use of low-quality sprayers for pesticide application can lead to the yield decrease and negative environmental consequences. The use of worn nozzles is noted to reduce the efficiency of plant treatment, since the deviation from the dosage norm of plant protection products reaches 30-60 percent. It is noted that foreign-made sprayers are most often used in Russia, since there are no domestic analogues providing similar output parameters. *(Research purpose)* To investigate the output parameters of the developed slotted agricultural sprayer and compare them with the performance of advanced imported analogues. *(Materials and methods)* A prototype model of the developed sprayer was made of bronze using mechanical treatment. It was examined on a special test bench in comparison

with a reference polymer sprayer. Using optical microscopy the flow rate of the working fluid and the spray angle were measured, as well as the dimensions of the sprayer nozzle. (*Results and discussion*) It was found that, on average, in the prototype sprayer made of bronze, the flow rate of the working fluid is 1.7 times greater and the spray angle is 37.16 degrees less than those of a reference polymer sprayer. The examination of the spray nozzles by an optical microscope revealed some differences in shape and size. (*Conclusions*) The developed design of the sprayer reveals a need for improvement: the nozzle shape should be modified to ellipsoid; the nozzle size should be reduced. **Keywords:** spraying, slotted agricultural sprayer, working fluid flow rate, spray angle, nozzle diameter.

For citation: Slavkina V.E., Sviridov A.S., Arumugam G., Goncharova Y.A., Kasimov R.M. Razrabotka konstruktsii shchelevogo sel'skhozaystvennogo raspylitelya i issledovanie ego vyhodnykh parametrov [Developing the design for a slotted agricultural sprayer and studying its output parameters]. *Sel'skhozaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 34-37 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-34-37. EDN AZUODK.

Практика показывает, что более 50% прибавки урожая получают благодаря внесению удобрений и средств защиты растений [1, 2]. Рынок пестицидов России по показателю прироста объема их продаж занимает первое место в мире за период 2008-2018 г. [3]. Они обеспечивают оперативную обработку сельхозкультур, способствуют повышению урожайности [4, 5]. Неправильное внесение химических растворов вызывает серьезную опасность для здоровья операторов, потребителей, наносит вред окружающей среде [6, 7].

Ежегодно в России тратится значительное количество денег на импорт различных запасных частей для сельхозтехники, в том числе распылителей для опрыскивателей [8, 9]. Среди различных видов распылителей наиболее популярны щелевые [10, 11].

Цель исследования – изучить выходные параметры разработанного щелевого сельскохозяйственного распылителя и сравнить их с показателями переносимых импортных аналогов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. На основе анализа существующих щелевых распылителей спроектировали новую конструкцию (рис. 1). Опытный образец изготовили из бронзы БрАЖ9-4 с помощью механической обработки на металлорежущем оборудовании. Бронза марки БрАЖ 9-4 легко поддается обработке давлением в горячем состоянии, обладает высокой прочностью и хорошими антифрикционными свойствами.

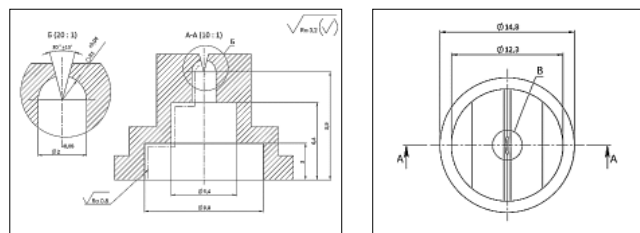


Рис. 1. Конструкция спроектированного распылителя

Fig. 1. Designed sprayer diagram

Сравнили выходные параметры спроектированного распылителя и изготовленного компанией TeeJet, принятого за эталон (рис. 2). Этот образец относится к стандартным щелевым распылителям. Подобный тип универсальных форсунок широко применяют для



Рис. 2. Внешний вид образцов для испытания: а – полимерный распылитель TeeJet; б – спроектированный распылитель, изготовленный из бронзы

Fig. 2. Appearance of the test specimens: a – TeeJet polymer sprayer; b – a designed sprayer made of bronze

обработки сельхозкультур благодаря простому и быстрому монтажу с минимальными затратами, а также доступной цене. Эталонный распылитель изготовлен из полимера полиоксиметилен методом литья под давлением.

Распылители исследовали на испытательном стенде (рис. 3).



Рис. 3. Испытательный стенд для исследования распылителей: 1 – штанга; 2 – корпус стенда; 3 – исследуемые распылители; 4 – манометр для регулирования давления

Fig. 3. Sprayer test bench: 1 – boom; 2 – test bench body; 3 – sprayers to be tested; 4 – pressure gauge for pressure regulation

Оба исследуемых распылителя одновременно крепили на кронштейне. Включали насос, подающий воду через распылители на рабочий стол установки. Вода стекала по наклонной поверхности в лоток, а затем в емкость под ним.

Задавали различные параметры давления, Па:

- минимальное – 1,0;
- промежуточное – 2,5;

– максимальное – 4,0.

Под каждым распылителем стоял мерный стакан объемом 200 мл. Испытания проводили в течение 3 с, после чего закрывали кран и измеряли количество жидкости в стакане. Для измерения угла распыла процесс записывали на видеокамеру. Полученные изображения обрабатывали в программе *Компас-3D*. На изображении строили касательные к факелу распыла жидкости и измеряли угол между ними (рис. 4).



Рис. 4. Измерение угла распыла с применением программы *Компас-3D*

Fig. 4. Measuring the spray angle using the *KOMPAS-3D* program

На следующем этапе изучили размеры сопел распылителей. Изображения сопел получали при помощи оптического микроскопа *Olympus GX53*, обрабатывали их с помощью программного обеспечения *OLYMPUS Stream*, позволяющего оценить линейные размеры объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Спроектированный распылитель показал в среднем расход воды в 1,7 раз больше по сравнению с эталонным при всех значениях давления (рис. 5). Угол факела распыла при давлении 2,5 Па в экспериментальном образце меньше – 58°34' против 95°50' в эталонном, то есть ширина опрыскиваемой полосы будет меньше. Для анализа данных по расходу жидкости и углам распыла изучили форму и размер сопел распылителей (рис. 6, таблица).

Сопло разработанного распылителя имеет форму овала, а эталонного – эллипса. Кроме того, размеры сопла сконструированного распылителя оказались больше, что также негативно сказалось на выходных параметрах.

Выводы. Опытный образец изготовленного нами целевого распылителя не может обеспечить качественную работу опрыскивателя. Его расход рабочей жидкости в 1,7 раза больше эталонного образца компании *TeeJet*. Угол факела распыла меньше на 37°16',

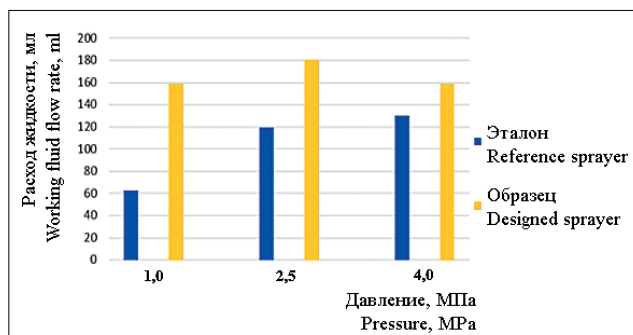


Рис. 5. Расход рабочей жидкости распылителями за время испытания

Fig. 5. Working fluid flow rate in sprayers during the test

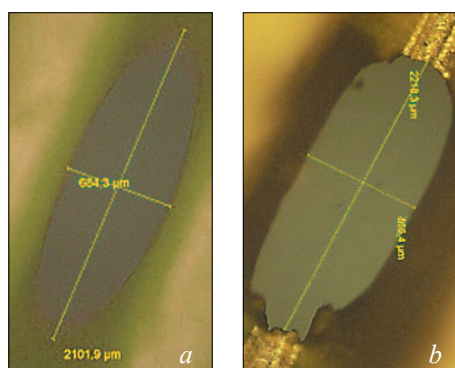


Рис. 6. Форма сопел распылителей: а – эталонный; б – спроектированный

Fig. 6. Shape of spray nozzles: а – reference sprayer; б – designed sprayer

Таблица			Table		
РАЗМЕРЫ СОПЛА В РАСПЫЛИТЕЛЯХ, МКМ			DIMENSIONS OF THE SPRAYER NOZZLES, MICRONS		
Распылитель	Высота	Ширина сопла	Sprayer	Height	Nozzle width
Эталонный	2101,9	684,3	Reference sprayer	2101,9	684,3
Спроектированный	2218,3	855,4	Designed sprayer	2218,3	855,4

что снижает производительность при обработке поверхности поля.

Сопло эталонного распылителя представляет собой эллипс, тогда как сопло сконструированного образца имеет форму овала, превосходя эталон по размерам. Таким образом, разработанную геометрию распылителя следует скорректировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Дорохов А.С., Старостин И.А., Ешин А.В., Курбанов Р.К. Технические средства для химической защиты растений: состояние и перспективы развития // *Агроинженерия*. 2022. N3. С. 12-18.
- Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. и др. Инновационное технологическое обеспечение производства овощных культур. М.: Цифровичок. 2022. 318 с.
- Захаренко В.А. Использование пестицидов в аграрном секторе России в контексте развития глобальных рынков средств защиты растений // *Агрохимия*. 2020. N3. С. 43-48.
- Adisa I.O., Pullagarala V.L.R., Peralta-Videa J.R., et al. Recent Advanced in nano-enabled fertilizers and pesticides: a Critical Review of Mechanisms of Action. *Environmental Science: Nano*. 2019. 6(7). 2002-2030.
- Sharma A., Handa N. Kohli S.K., et al. Worldwide Pesticide Usage and its Impact on Ecosystem. *SN Applied Sciences*.

2019. 1(11). 1466.
6. Башкирев А.П., Шварц А.А., Шкабенко А.Ю. Анализ работы полевых опрыскивателей // *Наука в центральной России*. 2019. N42. С. 50-58.
 7. Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Овчаренко А.С. Модернизация конструкции мобильного роботизированного опрыскивателя // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N3(32). С. 177-185.
 8. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Мишина З.Н., Герасимов В.С. Способы поддержки жизненного цикла сельскохозяйственной техники // *Техника и оборудование для села*. 2018. N10. С. 40-43.
 9. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизированным измерительным устройством // *Наука без границ*. 2018. N2(19). С. 44-50.
 10. Свиридов А.С., Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // *Аграрный научный журнал*. 2021. N6. С. 96-100.
 11. Потемкин Р.А., Свиридов А.С. Особенности испытаний распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // *Технический сервис машин*. 2020. N4(141). С.47-53.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eshchin A.V., Kurbanov R.K. Tekhnicheskie sredstva dlya khimicheskoy zashchity rasteniy: sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Technical means for chemical protection of plants: current state and development prospects]. *Agroinzheneriya*. 2022. N3. 12-18 (In Russian).
2. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., et al. Innovatsionnoye tekhnologicheskoye obespecheniye proizvodstva ovoshchnykh kul'tur [Innovative technological support for vegetable crops production]. Moscow: Tsifrovichok. 2022. 318 (In Russian).
3. Zakharenko V.A. Ispol'zovanie pestitsidov v agrarnom sektore Rossii v kontekste razvitiya global'nykh rynkov sredstv zashchity rasteniy [Use of pesticides in the agricultural sector of Russia in the context of the development of global markets of plant protection products]. *Agrokhimiya*. 2020. N3. 43-48 (In Russian).
4. Adisa I.O., Pullagarala V.L.R., Peralta-Videa J.R., et al. Recent Advanced in nano-enabled fertilizers and pesticides: a Critical Review of Mechanisms of Action. *Environmental Science: Nano*. 2019. 6(7). 2002-2030 (In English).
5. Sharma A., Handa N. Kohli S.K., et al. Worldwide Pesticide Usage and its Impact on Ecosystem. *SN Applied Sciences*. 2019. 1(11). 1466 (In English).
6. Bashkirev A.P., Shvarts A.A., Shkabenko A.Yu. Analiz raboty polevykh opryskivately [Analysis of the work of field sprayers]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2019. N42. 50-58 (In Russian).
7. Dorokhov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Ovcharenko A.S. Modernizatsiya konstruktssii mobil'nogo robotizirovannogo opryskivatelya [Structure modernization of mobile robotic sprayer]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N3(32). 177-185 (In Russian).
8. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Mishina Z.N., Gerasimov V.S. Spособы podderzhki zhiznennogo tsikla sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Ways to support the life cycle of agricultural machinery]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N10. 40-43 (In Russian).
9. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D.M. Kontrol' kachestva zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki avtomatizirovannym izmeritel'nyim ustroystvom [Control of quality of spare parts of agricultural machinery automated measuring device]. *Nauka bez granits*. 2018. N2(19). 44-50 (In Russian).
10. Sviridov A.S., Kataev Yu.V., Zagoruyko M.G. Analiz tipov raspyliteley sel'skokhozyaystvennykh opryskivately [Analysis of the types of agricultural sprayers' nozzles]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021. N6. 96-100 (In Russian).
11. Potemkin R.A., Sviridov A.S. Osobennosti ispytaniy raspyliteley sel'skokhozyaystvennykh opryskivately [Features of testing sprayers of agricultural machines]. *Tekhnicheskiiy servis mashin*. 2020. N4(141). 47-53 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Славкина В.Э. – подготовка текста статьи, анализ экспериментальных результатов;
 Свиридов А.С. – проведение испытаний распылителей, анализ экспериментальных результатов, разработка конструкции распылителя;
 Арумугам Г. – разработка конструкции распылителя;
 Гончарова Ю.А. – изготовление разработанного распылителя, редактирование текста статьи;
 Касимов Р.М. – обработка экспериментальных результатов.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

20.04.2022

12.08.2022

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Slavkina V.E. – preparation of the article manuscript, analysis of the experimental results;
 Sviridov A.S. – testing the sprayers, analysis of the experimental results, development of the sprayer design;
 Arumugam G. – development of the sprayer design;
 Goncharova Yu.A. – manufacturing the pre-designed sprayer, proofreading the article manuscript;
 Kasimov R.M. – processing of experimental results.
 The authors read and approved the final manuscript.

Разработка диска для распределения твердых минеральных удобрений с регулируемой дозой внесения

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;
Сергей Александрович Пехнов,
старший научный сотрудник,
e-mail: pehnov@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что большинство возделываемых полей в России имеют контуры неправильной формы, в связи с чем на пограничных участках минеральные удобрения вносятся нерационально. Показали, что для устранения данной проблемы производители разбрасывателей твердых минеральных удобрений предлагают несколько технологических решений: в большинстве случаев зону внесения ограничивают, изменяя траекторию полета гранул. (*Цель исследования*) Разработать диск с изменяемой площадью распределения для разбрасывателей минеральных удобрений, оборудованных системами дифференцированного внесения. (*Материалы и методы*) Оценили зону внесения гранул минеральных удобрений в зависимости от угла излома лопаток диска распределителя. Спроектировали 3D-модели дисков с изменяемым углом излома лопатки от 0 до 25 градусов, которые в последующем загружали в программу *RealFlow* для последующей симуляции процессов распределения твердых минеральных удобрений. (*Результаты и обсуждение*) Получили координаты гранул минеральных удобрений, сошедших с диска и приземлившихся на поверхность. Построили графики распределения минеральных удобрений по поверхности поля. Установили, что изменение угла излома лопатки распределяющего диска в диапазоне до 20 градусов позволяет варьировать ширину и дальность полета гранул минеральных удобрений в пределах 10 и 8 метров соответственно. Разработали конструкцию диска распределителя минеральных удобрений с регулируемой дозой внесения. (*Выводы*) Предложили конструкцию диска для плавного изменения угла излома лопатки до 25 градусов, что позволит использовать данную систему совместно с автоматизированными системами дозирования, повысить точность распределения твердых минеральных удобрений и мелиорантов на пограничных, краевых и клиновидных участках полей.

Ключевые слова: распределитель минеральных удобрений, диск распределителя, дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений, внесение удобрений на краях полей, точное земледелие.

■ **Для цитирования:** Тетерин В.С., Панферов Н.С., Пехнов С.А. Разработка диска для распределения твердых минеральных удобрений с регулируемой дозой внесения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-38-44. EDN ZJFXTE.

Development of a Distributor Disc for Mineral Fertilizers With Variable Application Rate

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;
Sergey A. Pekhnov,
senior researcher, e-mail: pehnov@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract: Most of the cultivated fields in Russia are acknowledged to have irregular contours, therefore mineral fertilizers are applied irrationally at the field boundaries. To eliminate this problem, the manufacturers of solid mineral fertilizer spreaders offer several technological solutions: in most cases, the application area is limited by changing the granule flight path. (*Research purpose*) To develop a distributor disc for a variable application area to use in mineral fertilizer spreaders equipped with variable

rate application systems. (*Materials and methods*) The trajectory for applying mineral fertilizer granules was estimated depending on the bend angle of the distributor disk blade. We designed 3D disk models with a variable blade bend angle from 0 to 25 degrees, which were uploaded into the RealFlow program for the subsequent simulation of solid mineral fertilizer distribution. (*Results and discussion*) The coordinates were obtained for mineral fertilizer granules that dropped from the disk and landed on the surface. We built graphs of the mineral fertilizer distribution on the field surface. It was found out that changing the bend angle of the distributor disk blade within a 20-degree range makes it possible to vary the granule flight path within 10 meters of width and 8 meters of length, respectively. We developed a design of a mineral fertilizer distributor disk with an adjustable application rate. (*Conclusions*) A disk design was proposed for a smooth change in the blade bend angle within up to 25 degrees, which will allow the use of this system in conjunction with automated rate application systems, improve the distribution accuracy of solid mineral fertilizers and ameliorants in the boundary, edge and wedge-shaped sections of fields.

Keywords: mineral fertilizer distributor, distributor disk, variable rate application of solid mineral fertilizers, fertilization at the field edges, precision farming.

■ **For citation:** Teterin V.S., Panferov N.S., Pekhnov S.A. Razrabotka diska dlya raspredeleniya tverdykh mineral'nykh udobreniy s reguliruemoy dozoy vneseniya [Development of a distributor disc for mineral fertilizers with variable application rate]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 38-44 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-38-44. EDN ZJFXTE.

Эффективность минеральных удобрений во многом определяется способом их внесения и заделки в почву. В зависимости от характера размещения минеральных удобрений в почве основное внесение удобрений может осуществляться сплошным (разбросным) и локальным способами [1-3]. В первом случае удобрения распределяются по полю разбросными туковыми сеялками, авиационными разбрасывателями, но преимущественно – распределителями с рабочим органом центробежного типа [4-6].

К недостаткам этого способа относятся: неравномерное распределение удобрений по поверхности почвы, попадание определенного их количества в пересыхающий слой почвы, а также за пределы возделываемого участка. Потери в урожайности из-за неравномерного распределения удобрений могут достигать 17,5% [7-9].

Производители разбрасывателей минеральных удобрений предлагают различные решения как в части самих рабочих органов, так и в вопросах программного обеспечения. В целом концепция данных технологий заключается в том, что они ориентированы на неравномерность, неоднородность и непостоянство состава почвы участков конкретного поля. Применение описываемых технологий заключается в определении границ участков, точных данных о химическом составе почвы, уровне ее влажности (в том числе глубине подземных вод), количестве солнечной радиации, неровности рельефа, преобладающих ветрах, наличии поблизости значимых природных и других объектов (лесов, водоемов, промышленных предприятий, жилых домов, дорог и т.п.) [1, 10, 11].

Такие системы имеют как правило похожие исполнения с небольшими конструктивными различиями. В частности они позволяют регулировать дозу внесения удобрений непосредственно из кабины трактора

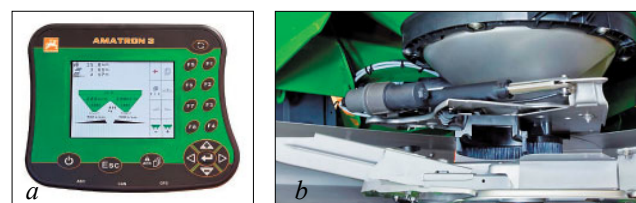


Рис. 1. Пример системы дозирования Soft Ballistic System от компании Amazon: а – ISOBUS-терминал Amatron 3; б – узел управления системой дозирования

Fig. 1. The sample of the "Soft Ballistic System" dosing system by Amazon: а – Amatron 3 ISOBUS terminal; б – dosing system control unit

(рис. 1). При этом регулировка осуществляется в ходе изменения положения заслонки. Площадь распределения удобрений зависит от частоты вращения распределяющего диска или длины и положения лопаток.

Среди подходов, направленных на улучшение равномерности распределения удобрений, интересна система *Trend* от компании *Bogballe*: распределяющие диски вращаются навстречу друг другу, тем самым создавая более широкую зону перекрытия за распределителем. Система от компании *Kverneland* включает в себя диски, оборудованные 8 лопастями, тем самым разделяя зону распределения на 16 секторов [12-15].

Большинство возделываемых полей в России имеют контуры неправильной формы. На пограничных участках минеральные удобрения вносятся нерационально (рис. 2) [16-18]. Поэтому важно разработать технологии пограничного внесения твердых минеральных удобрений.

Производители разбрасывателей твердых минеральных удобрений предлагают несколько технологических решений, направленных на устранение проблемы. Фирмы *Kverneland*, *Kuhn*, *Rauch* и другие раз-



Рис. 2. Спутниковый снимок с выделенными контурами возделываемых полей

Fig. 2. Satellite image of the cultivated fields with the highlighted contours



Рис. 3. Система Telimat T25 от компании Rauch (видны ограничители для равномерного внесения удобрений на узких участках поля и клиньях)

Fig. 3. Telimat T25 system by Rauch (you can see the limiters for even application of fertilizer in narrow areas of the field and wedge-shaped sections)

работали системы по типу Telimat T25 (рис. 3) [15, 19, 20].

Подобные системы предназначены для ограничения поперечного распределения минеральных удобрений при движении машины возле межи или по краю поля. При этом регулировка осуществляется изменением положения отражателей, влияющего на траекторию гранул.

У данной технологии можно отметить несколько недостатков. Обычно эти системы устанавливают с одной (правой) стороны распределителя, что существенно ограничивает их использование. Повышается неравномерность распределения удобрений, так как часть гранул при ударе об отражатели будет сыпаться в зоне самого устройства. Кроме того, при ударе о дефлекторы системы происходит разрушение гранул твердых минеральных удобрений и пыление.

Компания Amazone разработала более совершенную технологию внесения удобрений вдоль края поля под названием AutoTS (рис. 4). Принцип ее работы заключается в перемещении части распределяющей лопатки на 10° , то есть в изменении ее конечной длины посредством переключения от длинного к более

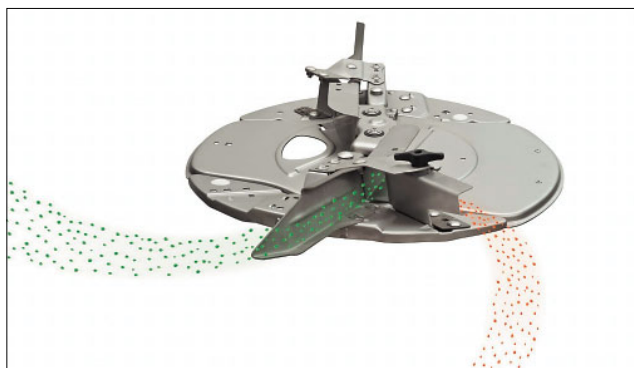


Рис. 4. Система AutoTS от компании Amazone

Fig. 4. AutoTS system by Amazone

короткому элементу лопатки, в результате чего удобрения выбрасываются значительно ближе, причем без оказания на них дополнительного механического воздействия [15, 20-23].

Однако данная система также имеет определенные недостатки. Например, лопатки могут принимать только два крайних положения, что существенно снижает диапазон возможных траекторий распределения удобрений. Для регулировки площади распределения Amazone по-прежнему использует комплекты сменных лопаток.

Цель исследования – разработать диск с изменяемой площадью распределения для разбрасывателей минеральных удобрений, оборудованных системами дифференцированного внесения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для оценки влияния угла излома лопатки на площадь распределения твердых минеральных удобрений спроектировали 3D-модели дисков со следующими параметрами: диаметр – 500 мм; количество лопаток – 2 шт.; длина лопаток – 300 мм; длина лопаток до излома – 150 мм. При этом в моделях варьировался угол излома лопаток – от 0° (первоначальное положение) до 25° (рис. 5). Построенные модели загружали в программу RealFlow, где моделировались процессы их работы.

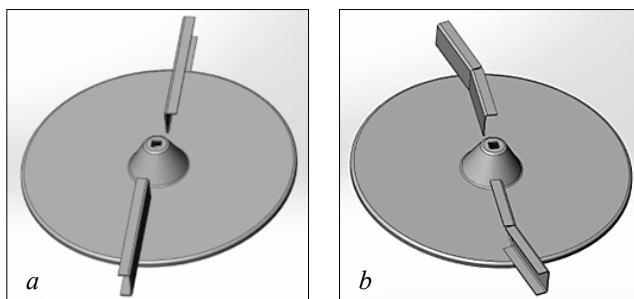


Рис. 5. Модели распределяющих дисков: а – прямые лопатки; б – лопатки с изломом 10°

Fig. 5. Models of distributing disks; a – straight blades; b – blades with a 10° bend

Оценили траекторию распределения гранул минеральных удобрений в зависимости от угла излома

лопатки. При моделировании процессов каждый из дисков оборудовали разгонной камерой с постоянными параметрами и расположением выходного окна. В процессе симуляции на распределительные диски подавалось ограниченное число частиц определенного размера, имитирующих гранулы минеральных удобрений (рис. 6).

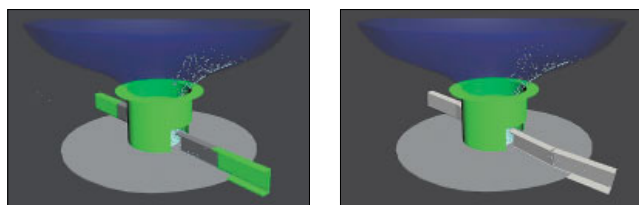


Рис. 6. Примеры симуляции процесса распределения твердых минеральных удобрений

Fig. 6. – The examples of the simulation process of distributing solid mineral fertilizers

При имитации работы распределяющего диска определили следующие параметры:

- частота вращения диска – 750 об/мин;
- расположение диска относительно поверхности – горизонтальное на высоте 700 мм;
- количество гранул – 1150 шт.;
- размер гранул – 3 мм;
- коэффициент трения гранул о поверхность диска – 0,55.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для определения зависимости площади распределения от изменения угла излома лопатки в программе *RealFlow* были получены координаты гранул минеральных удобрений, сошедших с диска и приземлившихся на поверхность. На основе полученных координат в программе *Microsoft Excel* построены графики распределения гранул (рис. 7).

При изменении угла излома распределяющих лопаток в пределах 10° наблюдаются изменения ширины и дальности распределения в небольшом диапа-

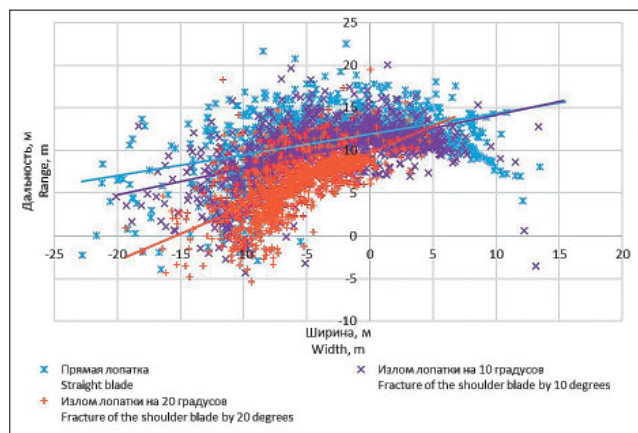


Рис. 7. Распределение гранул минеральных удобрений в зависимости от угла излома лопаток (координаты и их линейная аппроксимация)

Fig. 7. Distribution of mineral fertilizer granules depending on the bend angle of the blades (coordinates and their linear approximation)

зоне. Так, при угле 10° эти показатели изменяются в среднем на 2 м в сравнении с начальным положением лопаток (0°). Увеличение угла до 20° влечет за собой более существенное сокращение ширины и дальности распределения минеральных удобрений – на 10 и 8 м соответственно по отношению к параметрам, характеризующим первоначальное положение лопатки.

Стоит отметить, что при угле излома, превышающем 20° , существенных изменений в распределении гранул не происходит. Это обусловлено тем, что основная часть удобрений сходит с короткой части лопатки в месте излома и не подхватывается ее продолжением. Исключение составляет лишь незначительная часть гранул (около 3%), что можно отнести к статистической погрешности.

Опираясь на полученные данные, мы предложили конструкцию диска распределителя минеральных удобрений с регулируемой площадью внесения (рис. 8).

Распределяющий диск работает следующим образом. Предварительно в блок управления распределителя минеральных удобрений и мелиорантов за-

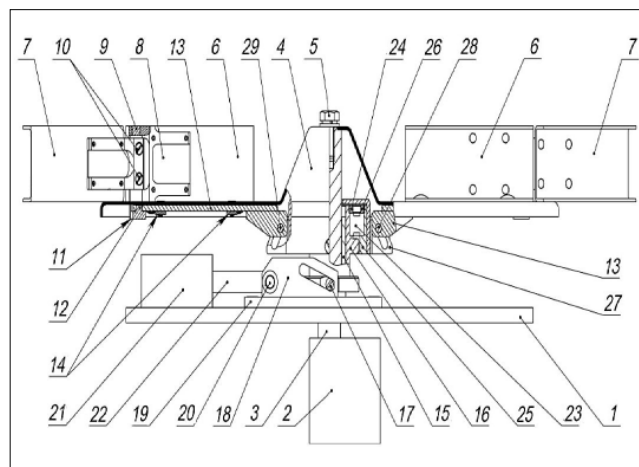


Рис. 8. Конструктивная схема диска распределителя минеральных удобрений с регулируемой площадью внесения:

1 – платформа; 2 – привод; 3 – вал привода; 4 – плоский диск с конической поверхностью в центре; 5 – фиксирующий болт; 6 – лопасти; 7 – подвижные лопасти; 8 – петлевой шарнир; 9 – ось шарнира; 10 – винты; 11 – рычаг; 12 – цилиндрический выступ; 13 – тяга; 14 – направляющие тяги; 15 – направляющий фланец; 16 – вал; 17 – штифты; 18 – каретка; 19 – направляющие; 20 – ось каретки; 21 – актуатор; 22 – толкатель; 23 – подшипник; 24, 26 – стопора; 25 – корпус подшипника; 27 – толкатель; 28 – ось тяги

Fig. 8. Structural diagram of a distribution disc for mineral fertilizer with an adjustable application area: 1 – platform; 2 – drive; 3 – drive shaft; 4 – flat disc with a conical surface in the center; 5 – locking bolt; 6 – blades; 7 – movable blades; 8 – hinge; 9 – hinge axis; 10 – screws; 11 – lever; 12 – cylindrical projection; 13 – rod; 14 – guide rods; 15 – guide flange; 16 – shaft; 17 – pins; 18 – carriage; 19 – guides; 20 – carriage axis; 21 – actuator; 22 – pusher; 23 – bearing; 24, 26 – stoppers; 25 – bearing housing; 27 – pusher; 28 – rod axis

гружается карта заданий с обозначением контуров полей и элементарных участков. В соответствии с загруженными данными с блока управления поступает сигнал на привод, который задает необходимую скорость вращения вала. Крутящий момент передается на диск.

При поступлении минеральных удобрений на вращающийся диск лопасти осуществляют их перемещение к лопаткам, которые выбрасывают материал на необходимое расстояние. Для обеспечения максимальной дальности броска лопатки располагаются последовательно с лопастями, образуя прямую линию. При необходимости сокращения дальности распределения минеральных удобрений, например при движении разбрасывателя вдоль кромки поля, с блока управления поступает сигнал на актуатор, который перемещает каретку по направляющим. От ее воздействия штифты поднимают вверх вал с закрепленным на нем через подшипник толкателем. Толкатель перемещает тягу в горизонтальном направлении в сторону края диска, тем самым поворачивая лопатки относительно лопастей на угол до 25°.

Если надо увеличить дальность броска, то с блока

управления поступает сигнал на актуатор, тем самым приводя в движения описанный механизм в обратном направлении. В результате угол между лопаткой и лопастями сокращается, вплоть до их полной последовательной установки.

Выводы. Изменение угла излома лопатки распределяющего диска в диапазоне до 20° позволяет влиять на ширину и дальность полета гранул минеральных удобрений в пределах 10 и 8 метров соответственно. Основываясь на полученных данных, разработали диск распределителя минеральных удобрений с регулируемой зоной внесения.

Предложенная конструкция диска дает возможность плавно изменять угол излома лопатки с предельным значением 25°. Система работает в автоматическом режиме, распределяя удобрения согласно картам заданий.

Использование предлагаемой системы совместно с автоматизированными системами дозирования позволит повысить точность распределения твердых минеральных удобрений и мелиорантов на пограничных, краевых и клиновидных участках полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 4-9.
2. Волюнкина О.В., Копылов А.Н. Сроки и способы внесения минеральных удобрений // *Аграрный сектор*. 2021. №3(49). С. 52-57.
3. Еремина Д.В., Демина О.Н. Экономика планируемых урожаев яровой пшеницы на пахотных черноземах за счет внесения минеральных удобрений // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. №1(61). С. 9-14.
4. Li Z.X., Chi F.Q., Zhang J.M., Kuang E.J., Su Q.R. Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Hu Molecular Structure in Black Soil. *Spectroscopy and spectral analysis*. 2018. Vol. 38. №12. 3875-3882.
5. Andreev K.P., Danilenko Zh.V., Kostenko M.Yu., et al. Determining the inequality of solid mineral fertilizers application. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. №10, Special Issue. 2112-2122.
6. Андреев К.П., Аникин Н.В., Бышов Н.В. и др. Внедрение системы точного земледелия // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019. №2(42). С. 74-80.
7. Сычев В.Г. Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на основные показатели различных типов почв // *Плодородие*. 2021. №4(121). С. 3-5.
8. Gavryushina I.V. Photosynthetic activity the yield and biomass of maize depending on mineral nutrition. *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*. 2018. Vol. 9. №6. 1696-1703.
9. Xinyu Z., Wenyi D., Xiaoqin D., Sean S., Xiaomin S. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 536. 59-67.
10. Андреев К.П., Костенко М.Ю., Шемякин А.В. и др. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2017. №1(33). С. 54-59.
11. Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Интеллектуальная технология формирования системы удобрения // *Техника и оборудование для села*. 2020. №7(277). С. 2-5.
12. Даниленко Ж.В., Шемякин А.В., Ерошкин А.Д. и др. Координатное внесение удобрений на основе полевого мониторинга // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2018. №4(40). С. 167-172.
13. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Митрофанов С.В. и др. Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений // *Техника и оборудование для села*. 2021. №12(294). С. 18-24.
14. Стенин С.С. Самозагружающийся разбрасыватель минеральных удобрений // *Молодой ученый*. 2017. №11-3(145). С. 53-55.

15. Volina T., Pylypaka S., Rebrii A., Pavlenko O., Kremets Y. Particle Movement on Concave Coulter of the Centrifugal Distributor with Radially Installed Vertical Blades. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. 237-246
16. Митрофанов С.В., Белых С.А., Благов Д.А. и др. К вопросу разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений // *Техническое обеспечение сельского хозяйства*. 2020. N1(2). С. 141-150.
17. Васильев С.И., Машков С.В., Крючин П.В. Теоретическое обоснование автоматизации картирования поля для совершенствования способа отбора проб почвы // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. N1. С. 47-55.
18. Шаяхметов М.Р., Шойкин О.Д. Точное земледелие на основе космической информации // *Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук*. 2018. N1. С. 272-274.
19. Hwang S.J., Nam J.S. DEM simulation model to optimise shutter hole position of a centrifugal fertiliser distributor for precise application. *Biosystems Engineering*. 2021. N204. 326-345.
20. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Пехнов С.А., Сухоруков Д.Г. Разработка лабораторного стенда для исследования рабочих органов распределителей удобрений центробежного типа // *Техника и оборудование для села*. 2020. N7(277). С. 26-29.
21. Исханов И.Г., Зиганшин Б.Г., Халиуллин Д.Т. Дисковый разбрасыватель минеральных удобрений // *Сельский механизатор*. 2017. N6. С. 15-16.
22. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Шогенов А.Х. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N3(54). С. 92-95.
23. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевальные аппараты для его осуществления // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 61-65.

REFERENCES

1. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Sposoby vnesheniya udobreniy v sisteme tochnogo zemledeliya [Methods of applying fertilizers in precision agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 4-9 (In Russian)
2. Volynkina O.V., Kopylov A.N. Sloki i sposoby vnesheniya mineral'nykh udobreniy [Terms and methods of applying mineral fertilizers]. *Agrarnyy sektor*. 2021. N3(49). 52-57 (In Russian).
3. Eremina D.V., Demina O.N. Ekonomika planiruemykh urozhaev yarovoy pshenitsy na pakhotnykh chernozemakh za schet vnesheniya mineral'nykh udobreniy [Economy of obtaining planned spring wheat yields on around chernozem due to mineral]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. Vol. 16. N1(61). 9-14 (In Russian).
4. Li Z.X., Chi F.Q., Zhang J.M., Kuang E.J., Su Q.R. Effects of Long-Term Localized Fertilization on Nutrient Balance and Dynamic Change of Hu Molecular Structure in Black Soil. *Spectroscopy and spectral analysis*. 2018. Vol. 38. N12. 3875-3882 (In English).
5. Andreev K.P., Danilenko Zh.V., Kostenko M.Yu., et al. Determining the inequality of solid mineral fertilizers application. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. N10. Special Issue. 2112-2122 (In English).
6. Andreev K.P., Anikin N.V., Byshov N.V., et al. Vnedrenie sistemy tochnogo zemledeliya [Introduction of exact farming system]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta named after P.A. Kostycheva*. 2019. N2(42). 74-80 (In Russian).
7. Sychev V.G. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh i organicheskikh udobreniy na osnovnye pokazateli razlichnykh tipov pochv [Effects of long-term mineral use and organic fertilizers on key indicators different types of soils]. *Plodородie*. 2021. N4(121). 3-5 (In Russian).
8. Gavryushina I.V. Photosynthetic activity the yield and biomass of maize depending on mineral nutrition. *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*. 2018. Vol. 9. N6. 1696-1703 (In English).
9. Xinyu Z., Wenyi D., Xiaoqin D., Sean S., Xiaomin S. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 536. 59-67 (In English).
10. Andreev K.P., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V., et al. Sovershenstvovanie tsentrobezhnykh razbrasyvateley dlya poverkhnostnogo vnesheniya mineral'nykh udobreniy [Improvement of centrifugal spreaders for surface application of mineral fertilizers]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta named after P.A. Kostycheva*. 2017. N1(33). 54-59 (In Russian).
11. Dorokhov A.S., Novikov N.N., Mitrofanov S.V. Intellektual'naya tekhnologiya formirovaniya sistemy udobreniya [Intelligent fertilizer system technology]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N7(277). 2-5 (In Russian).
12. Danilenko Zh.V., Shemyakin A.V., Eroshkin A.D., et al. Koordinatnoye vnesheniye udobreniy na osnove polevogo monitoringa [Coordinate fertilizer approaches based on field monitoring]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta named after P.A. Kostycheva*. 2018. N4(40). 167-172 (In Russian).
13. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V., et al. Tendentsii razvitiya mashin s tsentrobezhnyimi rabochimi organami dlya poverkhnostnogo vnesheniya tverdykh mineral'nykh udobreniy [Trends in the development of machines fitted with centrifugal working bodies for surface application of solid mineral fertilizers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N12(294). 18-24 (In Russian).

14. Stenin S.S. Samozagruzhayushchiysya razbrasyvatel' mineral'nykh udobreniy [Self-loading spreader of mineral fertilizers.]. *Molodoy uchenyy*. 2017. N11-3(145). 53-55 (In Russian).
15. Volina T., Pylypaka S., Rebrii A., Pavlenko O., Kremets Y. Particle Movement on Concave Coulter of the Centrifugal Distributor with Radially Installed Vertical Blades. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. 237-246 (In English).
16. Mitrofanov S.V., Belykh S.A., Blagov D.A., et al. K voprosu razrabotki kart-zadaniy dlya differentsirovannogo vnese-niya udobreniy [On the issue of creating prescription maps for variable rate fertilizer application]. *Tekhnicheskoe obes-pechenie sel'skogo khozyaystva*. 2020. N1(2). 141-150 (In Russian).
17. Vasil'ev S.I., Mashkov S.V., Kryuchin P.V. Teoreticheskoe obosnovanie avtomatizatsii kartirovaniya polya dlya sover-shenstvovaniya sposoba otbora prob pochvy [Theoretical substantiation of field mapping automation to improve the soil sampling method]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstven-noy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019. N1. 47-55 (In Russian).
18. Shayakhmetov M.R., Shoykin O.D. Tochnoe zemledelie na osnove kosmicheskoy informatsii [Precision agriculture based on space information]. *Aktual'nye problemy nauki i obrazo-vaniya v oblasti estestvennykh i sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2018. N1. 272-274 (In Russian).
19. Hwang S.J., Nam J.S. DEM simulation model to optimise shutter hole position of a centrifugal fertiliser distributor for precise application. *Biosystems Engineering*. 2021. N204. 326-345 (In English).
20. Panferov N.S., Teterin V.S., Pekhnov S.A., Sukhorukov D.G. Razrabotka laboratornogo stenda dlya issledovaniya rabo-chikh organov raspredeliteley udobreniy tsentrobezhno go ti-pa [Development of a laboratory bench for the study of the working bodies of centrifugal fertilizer spreaders]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N7(277). 26-29 (In Russian).
21. Iskhanov I.G., Ziganshin B.G., Khaliullin D.T. Diskovyy raz-brasyvatel' mineral'nykh udobreniy [Disc fertilizer spreader]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2017. N6. 15-16 (In Russian).
22. Ahalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov A.Kh. Trekhseksionnyy pochvoobrabaty-vayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section tillage unit with universal replace-able working bodies]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvenno-go agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 14. N3(54). 92-95 (In Russian).
23. Ahalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysevyayushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of the combined method of sowing and seeding machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 61-65 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Тетерин В.С. – научное руководство, формулирование основ-ных направлений исследования, проведение критическо-го анализа экспериментальных исследований, доработ-ка текста, формирование общих выводов;
Панферов Н.С. – литературный и патентный анализ, прове-дение лабораторных исследований, подготовка началь-ного варианта текста, формирование общих выводов;
Пехнов С.А. – разработка 3D-моделей дисков, разработка конструкции диска распределителя минеральных удо-брений с регулируемой площадью внесения.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Teterin V.S. – scientific guidance, formulation of the main research concepts, critical analysis of experimental studies, revision of the manuscript, formation of general conclusions;
Panferov N.S. – literature review and patent analysis, laboratory research, working on the manuscript initial version, formation of general conclusions;
Pekhnov S.A. – development of 3D disk models, designing a disk fertilizer spreader with an adjustable application area.

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

04.08.2022
11.10.2022

Внедрение искусственного интеллекта в растениеводство для оптимизации орошения

Александр Юрьевич Федосов,
младший научный сотрудник,
e-mail: ffed@rambler.ru;

Александр Михайлович Меньших,
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: soulsunnet@gmail.com

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, Московская область, Российская Федерация

Реферат. Обосновали актуальность внедрения искусственного интеллекта в сельское хозяйство для оптимизации орошения. (*Цель исследования*) Дать отчет о прогрессе, достигнутом в применении искусственного интеллекта для оптимизации орошения сельхозкультур. (*Материалы и методы*) Обзор сфокусировали на наиболее характерных фактах и важной научной информации о внедрении искусственного интеллекта в растениеводство. Использовали различные базы данных (Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ) и онлайн-источники (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library). Исследовали интеграцию моделей машинного обучения, которые могут обеспечить оптимальное управление решениями по ирригации. Рассмотрели тенденции исследований и применимость методов машинного обучения, а также развертывание разработанных моделей машинного обучения для использования фермерами в целях устойчивого управления орошением. (*Результаты и обсуждение*) Показали, как мобильные и веб-платформы могут обеспечить управление интеллектуальными процессами орошения. Машинное обучение – одна из центральных тем искусственного интеллекта, помогающая исследователям работать более творчески и эффективно. Отметим проблемы внедрения искусственного интеллекта в растениеводство и будущее направление исследований в области внедрения машинного обучения и решений для цифрового земледелия. (*Выводы*) Доказали актуальность интеллектуальной системы в ирригации и управлении водными ресурсами для устойчивого сельского хозяйства. Выявили, что, несмотря на обширную доступную литературу, моделирование машинного обучения для управления поливом сельхозкультур все еще находится в стадии становления, а лидируют в этой области Китай, США и Австралия.

Ключевые слова: точный полив, машинное обучение, мобильное приложение, веб-приложение, умное сельское хозяйство, цифровизация, оптимизации орошения сельхозкультур.

■ **Для цитирования:** Федосов А.Ю., Меньших А.М. Внедрение искусственного интеллекта в растениеводство для оптимизации орошения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 45-53. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-45-53. EDN ZVINRU.

Implementation of Artificial Intelligence in Agriculture to Optimize Irrigation

Alexander Yu. Fedosov,
junior researcher, e-mail: ffed@rambler.ru;

Aleksandr M. Menshikh,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: soulsunnet@gmail.com

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russian Federation

Abstract. The relevance of artificial intelligence in agriculture is substantiated for irrigation optimization. (*Research purpose*) To report on the progress made over the past few years in the application of artificial intelligence to optimize crop irrigation. (*Materials and methods*) The review focuses on the most salient facts and important scientific information on the application of artificial intelligence in crop production. The review is based on Various databases (Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, RSCI) and online sources (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library). It is shown how the integration of machine learning models can provide intelligent irrigation management. The review reports on the research trends and applicability of machine learning methods, as well as the deployment of developed machine learning models for sustainable irrigation management. (*Results and discussion*) Mobile and web platforms are shown to be able to facilitate intelligent

irrigation management. Machine learning proves to be one of the central areas of artificial intelligence helping researchers to work more creatively and efficiently. The review notes the problems of introducing artificial intelligence in crop production and specifies the future research areas in the machine learning implementation and digital farming solutions. (*Conclusions*) The relevance of the intelligent system in irrigation and water management is proved for sustainable agriculture. It is revealed that, despite the extensive literature available, machine learning modeling for crop irrigation management is still in its infancy. The countries leading in this area are China, the United States and Australia.

Keywords: precision irrigation, machine learning, mobile application, web application, smart agriculture, digitalization, crop irrigation optimization.

For citation: Fedosov A.Yu., Menshikh A.M. Vnedrenie iskusstvennogo intellekta v rastenievodstvo dlya optimizatsii orosheniya [The implementation of artificial intelligence in agriculture to optimize irrigation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022.Vol. 16. N4. 45-53 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-45-53. EDN ZVINRU.

Сельскохозяйственный сектор потребляет 85% доступных ресурсов пресной воды во всем мире. Их сокращение неизбежно из-за изменения климата, повышения температуры воздуха и уменьшения количества осадков. Ограниченность водных ресурсов при увеличении населения и спроса на продукты питания вызывает необходимость в более эффективных технологиях, в частности при орошении. Ручное орошение, основанное на измерении влажности почвы, заменено методами автоматического планирования. При внедрении автономных оросительных машин учитывали эвапотранспирацию растений, которая зависит от влажности воздуха, скорости ветра, солнечной радиации, принимая во внимание стадию роста и густоту стояния растений, свойства почвы, наличие вредителей [1, 2].

Благодаря быстрым успехам, наблюдаемым в интеграции Интернета вещей (*Internet of Things – IoT*) с технологиями беспроводной сенсорной сети (*wireless sensor network – WSN*) для интеллектуальных сельскохозяйственных приложений посредством дистанционного зондирования, контролируемый мониторинг процессов позволил лучше понять динамику изменения погоды, почвы и состояния посевов в течение вегетационного периода. Данные в режиме реального времени можно непрерывно собирать с помощью датчиков или устройств с поддержкой *IoT*, таких как датчики из точечного источника или установленные на беспилотных летательных судах, спутниках, тракторах или подвижных ирригационных платформах, таких как боковые или центральные поворотные платформы перемещения машин с целевого поля [3].

Существует несколько доступных коммерческих платформ, которые используются для сбора данных о почве, растениях и погоде в режиме реального времени. Но они могут быть неэффективными, поскольку в систему не интегрированы алгоритмы машинного обучения или математические модели на основе данных, результаты которых должны быть в числах, чтобы понять необработанную информацию. Следовательно, используя массивные пространственные и временные переменные данные, которые собирают-

ся и хранятся на облачных или пограничных серверах, можно принимать разумные решения с использованием различных моделей машинного обучения [4].

Цель исследования – дать отчет о прогрессе, достигнутом в применении искусственного интеллекта для оптимизации орошения сельхозкультур.

Материалы и методы. Провели обзор литературы, который сфокусировали на наиболее характерных фактах и важной современной научной информации о внедрении искусственного интеллекта в растениеводство. В обзор включены различные базы данных (*Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ*) и онлайн-источники (*Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library*).

Результаты и обсуждение. Для разработки устойчивой системы точного орошения важную роль играет интеграция вычислительного интеллекта, аграрной гидроинформатики, информационных технологий, способствуя эффективному управлению данными о почве, растениях и погоде [5]. Совершенствование моделей, связанных с погодой и окружающей средой, для оценки потребности растений в воде учитывает запрос сельхозтоваропроизводителей на доступ к простому мониторингу и визуализации различных параметров на смартфонах или других компьютерных устройствах для принятия решений вручную или интеллектуально [6].

Существующие работы сосредоточены на применении контролируемого и неконтролируемого обучения для интеллектуальных ирригационных систем. Из 9 изученных работ только в одной не предусмотрено контролируемое обучение, еще в одной – неконтролируемое [7-15]. Что касается обучения с подкреплением и объединенного обучения, то этим задачам посвящена лишь одна статья (точное управление орошением с использованием машинного обучения), и две – приложениям для цифрового земледелия. Разработки проведены в странах с фронтрованными исследованиями в области научно-технической и инновационной политики, где востребованы и широко применяются изучаемые программные продукты.

Машинное обучение базируется на опыте и зада-

чах выполнять действия, аналогичные функциям людей, и направлено на то, чтобы сделать машины умнее [16]. Оно способно решать сложные проблемы ирригационной системы, включая многовариантные, нелинейные и изменяющиеся во времени факторы. Методы машинного обучения могут использоваться для автоматического извлечения новой информации в виде обобщенных правил принятия решений для выполнения точных действий по орошению. В области управления точным орошением применение моделей машинного обучения (обучение с учителем, без учителя, с подкреплением и объединенное обучение) стало популярным для решения сложных задач, таких как классификация и прогнозирование [17].

- Результаты нашего обзора ($n=21$) контролируемых методов обучения для управления орошением показывают, что их широко используют для предсказуемого управления орошением, фертигацией в целях повышения урожайности и экономии воды. В других исследованиях ($n=10$) важной тенденцией стало обучение под наблюдением (*табл. 1*)

- В *таблице 2* обобщены другие исследования, в которых изучалось интеллектуальное управление орошением с использованием подхода к обучению под наблюдением. Только две работы посвящены одновременно и моделированию и облачному хранению информации. Наибольшее количество исследований в этой сфере проведено в Китае, США, Австралии, Индии, Иране, Франции.

Метод неконтролируемого обучения может быть реализован для вывода закономерностей, содержащихся в наборе данных о параметрах почвы, растений и погоды, для принятия оптимальных решений по ирригации в различных зонах орошения [18]. Примерами моделей обучения без учителя служат кластеризация, искусственная нейронная сеть (*ANN*), уменьшение размерности, иерархическая кластеризация и т.д.

Неконтролируемое обучение широко используется для управления орошением. Для обучения различных моделей с целью получения точных прогнозов с использованием этих методов требуется большой набор экспериментальных данных. Определение скрытого паттерна в немаркированном наборе данных – наиболее распространенная функция этого метода машинного обучения. Тем не менее большая часть обзорных работ реализована только с использованием моделирования (*табл. 2*).

Будущая работа в этой области должна быть больше сосредоточена на реализации моделирования как на краевых, так и на облачных платформах, а также на переводе на цифровые решения. В большинстве случаев сельхозтоваропроизводители не могут установить датчики и оборудование из-за высокой стоимости.

Применение обучения с подкреплением (*Application of Reinforcement Learning – RL*) для интеллектуального управления орошением основано на концепции,

согласно которой фермер или агент может учиться с помощью действий и обратной связи, основанных на сигналах вознаграждения. Он учится выбирать оптимальную схему посева, определяемую типом культуры, площадью для возделывания, данными посева и планом орошения, в зависимости от наличия воды в начале сельскохозяйственного сезона. Для получения нужной информации каждый агент взаимодействует с окружающей средой, которая состоит из экологических и социально-экономических модулей, содержащих различные процессы.

Предложена стратегия принятия решений на основе *Q*-обучения с подкреплением, основанная на прошлом опыте орошения и краткосрочном прогнозе погоды для полива рисового поля, и сопоставлена с обычным планированием орошения. Оценивалась прогнозируемая эффективность орошения для суточного количества осадков в течение 7 дней [28].

CropGym, открытая интеллектуальная среда, реализована для изучения процесса фертигации с использованием модели состояния роста растений и данных о погоде для создания действий и вознаграждения, оптимизации использования удобрений, а также повышения урожайности [29].

Эффективность использования воды требует усовершенствования ирригационных систем, основанного на решениях для цифрового земледелия, таких как мобильные и веб-приложения. Датчики, используемые для управления орошением, собирают различные экологические и метеорологические данные с поля, такие как Et_0 (эталонная эвапотранспирация), осадки, температура и влажность воздуха. Эти данные загружаются в базу облачного сервера. Фермеры могут использовать мобильные приложения для удаленного регулирования водяных клапанов, вентиляторов и других элементов управления, в зависимости от тенденций визуализируемых данных о почве, растениях и погоде [28]. Мобильное приложение «Умная ферма» помогает фермерам анализировать информацию, не присутствуя на поле. Предложена распределенная система мониторинга окружающей среды на основе *IoT* для воздуха, температуры воды и растворенного кислорода, с учетом уровня восприятия, передачи информации, системной архитектуры для гидропоники, возможностью управления аквакультурой. Для отправки данных датчиков задействован протокол связи дальнего действия, а для сбора данных и отправки их на облачную платформу – *4G* [35].

Внедрение веб-приложений и мобильных приложений становится все более важным в управлении ирригационными системами. Веб-инфраструктура может быть интегрирована с базами данных, чтобы пользователи могли выполнять манипулирование данными, визуализацию, аналитику и удаленное управление, например, принимать решения, связанные с орошением, такие как расчет общего количе-

Таблица 1

Table 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С УЧИТЕЛЕМ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ
SUMMARY OF PREVIOUS WORK ON SUPERVISED MACHINE LEARNING MODELS FOR SMART IRRIGATION MANAGEMENT

Используемая контролируемая модель Supervised model used	Функции Features	Моделирование Simulation	Экспериментальная реализация Experimental implementation	
			облако cloud	преимущество edge
PCA, K-means Clustering, GMM	Модель использует онлайн-данные о погоде и влажности почвы для определения нормы орошения. Модель уведомляет оператора о необходимом объеме полива посредством отправки коротких сообщений (short message sending – SMS) [19] The model uses online weather and soil moisture data to decide on the irrigation rate. The model notifies the operator of the required irrigation volume through short message sending (SMS) [19]	✓	✓	✓
KNN, DT, SVM, Logistic Regression	Ирригационные системы с машинным обучением и поддержкой Интернета вещей с отслеживанием температуры, влажности, питательных веществ и осадков в режиме реального времени для прогнозирования количества воды и удобрений, необходимых растениям для орошения [20] IoT-enabled machine learning irrigation systems with real-time monitoring of temperature, moisture, nutrients, and rainfall, to forecast the amount of water and fertilizer required for plant irrigation [20]	×	✓	✓
SVR, Bagging	Ансамблевая модель машинного обучения базируется на собранных данных о погоде в режиме реального времени для принятия оптимизированного решения с точностью до 90%. Прогнозируемое содержание влаги в почве используется для управления включением/выключением водяного насоса [21] The ensemble machine learning model is trained with collected real-time weather data to make an optimized decision, with an accuracy of 90%. The predicted soil moisture content is used to control the On/Off of the water pump [21]	✓	×	✓
DT, RF, ANN, SVM	Адаптивное управление орошением с применением машинного обучения для прогнозирования времени дня для орошения с использованием данных о влажности и температуре воздуха и почвы, текущего времени дня, скорости ветра и направлении ветра. Собранные данные визуализируются удаленно в мобильном приложении. Приложение взаимодействует с API через транспорт телеметрии с очередью сообщений (message-queuing telemetry transport — MQTT) для удаленного управления приводами [14] Adaptive irrigation management using machine learning to predict the time of the day for irrigation using the air-soil humidity and temperature, the current time of the day, wind speed, and direction data. The data collected is visualized remotely on a mobile app. The app is interfaced with an API through message-queuing telemetry transport (MQTT) for the remote control of actuators [14]	✓	×	✓
SVM, KNN, Naïve Bayes	Мониторинг в режиме реального времени с использованием датчиков и хранения данных в облаке ThingSpeak. Модели машинного обучения выполняют классификацию на основе порогового значения. Точность классификации моделей: SVM – 87,5%, KNN – 70,8%, Naïve Bayes – 76,4% [22] Real-time monitoring using sensors and data storage on the ThingSpeak cloud. The machine learning models perform classification based on a threshold value. The classification accuracy for the models is, namely, SVM – 87.5%, Naïve Bayes – 76.4%, and KNN – 70.8% [22]	✓	×	✓
GBRT	Испытательный стенд обнаружения и срабатывания на периферийном устройстве, решение по орошению в облаке. Модель смогла изучить решения по поливу для разных растений, адаптируясь к изменяющейся динамике окружающей среды [23] Sensing and actuation test bed on an edge device, irrigation decision on a cloud. The model was able to learn irrigation decisions for different plants while adapting to the changing dynamics of the environment [23]	✓	✓	✓
MLR, KNN, DT, RF	Прогноз осадков с использованием онлайн-данных с метеостанции для принятия решений по ирригации. Производительность модели с точки зрения RMSE, полученного для MLR, KNN, DT и RF, составляет 0,165; 0,103; 0,094 и 0,083 соответственно [24] Prediction of rainfall using online data from the weather station to guide irrigation decisions. The model performance, in terms of RMSE obtained for MLR, KNN, DT, and RF, is 0.165, 0.103, 0.094, and 0.083, respectively [24]	✓	×	✓
MLR, KNN-Regression	Точность MLR лучше, чем KNN-R; следовательно, он интегрирован с приложением для Android, которое позволяет точно планировать фертигацию в режиме реального времени в нужное время, когда ее необходимо применить [25] The accuracy of MLR is better than that of KNN-R; hence, it is integrated with an Android application. The Android app enables accurate real-time scheduling of the fertigation at the correct time it needs to be applied [25]	✓	×	✓
KNN	Система сельскохозяйственного мониторинга и аналитики с использованием данных дронов, обработанных алгоритмом KNN [26] Agricultural monitoring system and analytics using drone data processed with a KNN algorithm [26]	✓	×	✓
ANN	Прогноз ЕТо (эталонной эвапотранспирации) с использованием погодной переменной для определения графика орошения [27] Prediction of ETo (reference evapotranspiration) using weather variable to decide on irrigation scheduling [27]	✓	×	✓

Примечание / Note: PCA – Principal Component Analysis, GMM – Gaussian Mixture Model, KNN – K-Nearest Neighbor, DT – Decision Tree, SVM – Support Vector Machine, SVR – Support Vector Regression, RF – Random Forest, ANN – Artificial Neural Network, GBRT – Gradient Boosting Regression Tree, MLR – Multiple Linear Regression.

Таблица 2

Table 2

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ
SUMMARY OF PREVIOUS WORK ON UNSUPERVISED MACHINE LEARNING MODELS FOR SMART IRRIGATION MANAGEMENT

Используемая контролируемая модель Supervised model used	Функции Features	Моделирование Simulation	Экспериментальная реализация Experimental implementation	
			облако cloud	преимущество edge
Hidden Markov	Система использовала данные о влажности почвы, температуре воздуха и влажности листьев и сравнивала их с заранее установленными пороговыми значениями для различных почв и конкретных культур, чтобы принимать решения по ирригации. Markov-модель обнаружила возможные заболевания растений [30] The system made use of data on soil moisture content, air temperature, and leaf wetness and compared it with the predetermined threshold values of various soil and specific crops to guide irrigation decisions. The Markov model detected possible plant disease conditions [30]	✓	✓	✓
CNN	В системе использовался аналитический подход к орошению на основе Интернета вещей, чтобы улучшить интеллектуальное земледелие путем интеграции с распознаванием растений и обнаружением увядания [31] The system made use of an analytical approach for IoT-based irrigation to enhance smart farming by integrating plant recognition and wilt detection [31]	✓	✓	✓
Mask R-CNN, NN	Алгоритм автоматически обнаруживает воду на аэрофотосъемке ирригационных систем, используя изображения, полученные от беспилотных воздушных судов. Программное обеспечение для интеллектуального распознавания помогло в проверке системы орошения, тем самым сократив время и затраты на техническое обслуживание системы. Это помогло выявить неисправные ирригационные системы, снизить уровень недостаточного или чрезмерного полива [32] The algorithm automatically detected water from aerial footage of irrigation systems, using UAV-captured images. The smart recognition software helped the irrigation system inspection, therefore reducing time and costs on system maintenance. This helped to identify malfunctioning irrigation systems, to reduce under- or overwatering [32]	✓	✓	✓
ANFIS	На Raspberry Pi реализован интеллектуальный нейро-нечеткий контроллер для управления капельным орошением; достигнута эффективность откачки воды 95% [33] An intelligent neuron-fuzzy controller was implemented on Raspberry Pi for drip irrigation management; 95% water pumping efficiency was achieved [33]	✓	×	✓
RNN	Автономная система орошения использовалась для оптимизации урожайности и сокращения расхода воды на орошения [34] An autonomous irrigation system was used to optimize yield and reduce water consumption for irrigation [34]	✓	×	✓

ства использованной воды для орошения и стоимости орошения, оценка состояния воды в почве (потребление воды) и дистанционное управление ирригационным оборудованием. Кроме того, интеграция *IoT* и аналитика больших данных в облачных базах данных (БД), предоставляют возможность анализа сохраненных экспериментальных данных для прогноза с помощью мобильной и веб-инфраструктуры при фертигации, а также маркетингового прогноза собранной продукции.

Рассмотрим, как применяются мобильные и веб-приложения для интеллектуального управления орошением (табл. 3). Архитектура орошения включает в себя данные, полученные от беспилотных воздушных судов и спутников (например, изображения растений и вегетационный индекс), информацию о почве (влажность, тип), о погоде – с местной метеостанции, онлайн-базу данных о погоде (ET_0 , температура воздуха, солнечная радиация, влажность воздуха и т.д.). Если облачный сервер интегрирован с моделью машинного обучения, то она может предсказуемо рекомендовать решения по ирригации и планированию

для ирригационного поля.

Обучение с подкреплением имеет хороший потенциал для адаптивного управления ирригационными системами. Дальнейшая работа может помочь изучить способы влияния на динамику растений с учетом параметров погоды, регулировать процесс фертигации.

Объединенное обучение – это процедура, которая позволяет узлам, датчикам и другим устройствам совместно обучать и использовать модели прогнозирования. При этом отдельные устройства сохраняют свои данные. Глобальная статистическая модель разрабатывается на основе данных, хранящихся на локальных или удаленных устройствах. Затруднения, связанные с приложениями объединенного обучения, вызваны проблемами связи, возникающими при отправке обновлений модели с разнородных устройств, а также необходимостью защиты конфиденциальности [36]. Тем не менее ожидается, что потенциальные выгоды от применения объединенного обучения привлекут исследовательский интерес как научных кругов, так и промышленности.

Таблица 3

Table 3

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ
SUMMARY OF PREVIOUS WORK ON UNSUPERVISED MACHINE LEARNING MODELS FOR SMART IRRIGATION MANAGEMENT

Название приложения App Name	Функции Features	Android	iOS	Веб-страница Webpage
Agrowetter	Оценка погоды и испарения влаги растениями сельхозкультур для принятия решений по ирригации [37] Estimation of weather and moisture evaporation by crop plants to guide irrigation decisions [37]	✓	✓	✓
WebGIS application	Прогноз погоды, фертигация, карты орошения [38] Weather forecasting, fertigation, irrigation maps [38]	✓	✓	✓
eRAMS App	Планировщик орошения дождеванием, ежедневные обновления погоды [39] Sprinkler irrigation scheduler, daily weather updates [39]	✓	✓	✓
AWD app	Сервер Node.js предназначен для хранения данных и создания предупреждений, а веб-клиент использовался в качестве панели инструментов для отображения всех параметров AWD, таких как уровень воды и время работы насоса, с помощью приложения для смартфона или онлайн-интерфейса [40] A Node.js server was used to store data and produce alerts, and a web client was utilized as a dashboard to show all the AWD parameters, such as water level and pump operating times, using either the smartphone app or the online interface [40]	✓	✓	✓
Masa app	Консультационное и маркетинговое приложение для фермеров на основе машинного обучения [41] Machine learning-driven advisory and marketing app for farmers [41]	✓	✓	✓
AIST	Позволяет в точности с заданными условиями поддерживать динамику влажности почвы в соответствии с фазами роста растений. Объем затраченной воды на 6,5-17,6% меньше, чем при применении обычной технологии капельного полива в ручном режиме, и до 60% меньше, чем при поливе дождеванием [42] It allows to maintain the dynamics of soil moisture exactly with the given conditions and in accordance with the phases of plant growth. The volume of water used is 6.5-17.6% less than that when using conventional drip irrigation technology in manual mode, and up to 60% less than when using sprinkler irrigation	✓	✓	✓

Технологии цифровых двойников представляют собой комбинацию нескольких технологий, таких как Интернет вещей, имитационное моделирование, анализ данных и моделирование [43]. Тем не менее исследования по развертыванию интеллектуальных ирригационных систем, использующих цифровые двойники и машинное обучение, все еще ограничены. Ожидается, что разработка цифровых двойников с использованием машинного обучения и цифровых программных приложений откроет новые возможности для исследований.

Выводы. Определили тенденции внедрения машинного обучения и решений для цифрового земледелия, направленные на улучшение устойчивого точного орошения: применение обучения с подкреплением, объединенное обучение, модели цифровых двойников. Это открывает отличные перспективы для выращивания растений в рамках нынешнего сценария земледелия, когда изменение климата заставляет переосмыслить всю практику ведения сельского хозяйства.

Существует множество моделей машинного обучения, основанных на прогнозировании эвапотранспирации эталонной культуры. Показали, что контролируемое и неконтролируемое обучение в основном использовалось для точной ирригации с положительными результатами. Однако из-за многих преимуществ объединенного обучения, таких как конфиденциальность и безопасность данных, в этой области ожидается больше исследований. Стремление к Индустрии 4.0 в сельском хозяйстве вызовет дополнительные исследовательские работы по внедрению технологий цифровых двойников в интеллектуальных ирригационных системах. Размер набора данных может быть расширен в результате включения большего количества технологий, таких как блокчейн, Интернет вещей, облачные вычисления и другие, которые широко используются в растениеводстве. Будущая работа должна быть направлена на решение экологических проблем, связанных с использованием цифровых решений для управления орошением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М.: Ким Л.А. 2021. 306 с.
2. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Дефицитное орошение овощных культур // *Овощи России*. 2022. N3. С. 44-49.



3. 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.
4. Ронжин А.Л., Савельев А.И. Системы искусственного интеллекта в решении задач цифровизации и роботизации агропромышленного комплекса // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 22-29.
5. Камышова Г.Н. Моделирование нейпрогнозирующего управления дождевальными машинами // *Природообустройство*. 2021. N1. С. 14-22.
6. Jaafar H., Kharroubi S.A. Views, practices and knowledge of farmers regarding smart irrigation apps: A national cross-sectional study in Lebanon. *Agricultural Water Management*. 2021. N248. 106759.
7. Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*. 2018. N18. 2674.
8. Ait Issad H., Aoudjit R., Rodrigues J.J.P.C. A comprehensive review of data mining techniques in smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019. N12. 511-525.
9. Çetin M., Yıldız S., Beyhan S. Water need models and irrigation decision systems: A survey on machine learning and control theory. arXiv. 2021. arXiv:2103.11133.
10. Hans K., Jayakumar A. A review of intelligent practices for irrigation prediction. arXiv. 2016. arXiv:1612.02893.
11. Jimenez A.F., Cardenas P.F., Canales A., Jimenez F., Portacio A. A survey on intelligent agents and multi-agents for irrigation scheduling. *Computers and electronics in agriculture*. 2020. N176. 105474.
12. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019. N2. 1-12.
13. Balducci F., Impedovo D., Pirlo G. Machine learning applications on agricultural datasets for smart farm enhancement. *Machines*. 2018. N6. 38.
14. Glória A., Cardoso J., Sebastião P. Sustainable irrigation system for farming supported by machine learning and real-time sensor data. *Sensors*. 2021. N21. 3079.
15. Abioye E.A., Hensel O., Esau T.J., Elijah O., Abidin M.S.Z., Ayobami A.S., Yerima O., Nasirahmadi A. Precision Irrigation Management Using Machine Learning and Digital Farming Solutions. *AgriEngineering*. 2022. N4. 70-103.
16. Mekonnen Y., Namuduri S., Burton L., Sarwat A., Bhansali S. Review – Machine learning techniques in wireless sensor network based precision agriculture. *Journal of The Electrochemical Society*. 2020. N167. 037522.
17. Sayari S., Mahdavi-Meymand A., Zounemat-Kermani M. Irrigation water infiltration modeling using machine learning. *Computers and electronics in agriculture*. 2021. N180. 105921.
18. Kumar A., Surendra, A., Mohan H., Valliappan K.M., Kirthika N. Internet of things based smart irrigation using regression algorithm. In Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Computing, *Instrumentation and Control Technologies (ICICT)* Internet. Kerala, India. 2017. 1652-1657.
19. Gu W., Yi Z. Machine learning on minimizing irrigation water for lawns. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*. 2020. N8. 701-714.
20. Arulselvi G., Poornima D. Implementation of precision soil and water conservation agriculture (Pswca) through machine learning, cloud enabled IoT integration and wireless sensor network. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 2020. N7. 5426-5446.
21. Ramya S., Swetha A.M., Doraipandian M. IoT framework for smart irrigation using machine learning technique. *Journal of Computer Science*. 2020. N16. 355-363.
22. Bhanu K.N., Mahadevaswamy H.S., Jasmine H.J. IoT based smart system for enhanced irrigation in agriculture. In Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems. *Coimbatore*. India. 2020. 760-765.
23. Cagri Serdaroglu K., Onel C., Baydere S. IoT based smart plant irrigation system with enhanced learning. In Proceedings of the 2020 IEEE Computing, *Communications and IoT Applications (ComComAp)*. Beijing, China. 2020.
24. Shalini H., Aravinda C.V. An IoT-Based Predictive Analytics for Estimation of Rainfall for Irrigation. *Springer: Singapore*. 2021. V. 1133.
25. Torres-Sanchez R., Navarro-Hellin H., Guillamon-Frutos A., San-Segundo R., Ruiz-Abellón M.C., Domingo-Miguel R. A decision support system for irrigation management: Analysis and implementation of different learning techniques. *Water*. 2020. N12. 548.
26. Meivel S., Maheswari S. Standard agricultural drone data analytics using KNN algorithm. *Test Engineering and Management*. 2020. N82. 206-215.
27. Nawandar N.K., Cheggoju N., Satpute V. ANN-based model to predict reference evapotranspiration for irrigation estimation. In Proceedings of the International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications. Hyderabad, India. Springer: Singapore. 2020. 671-679.
28. Chen Y.A., Hsieh W.H., Ko Y.S., Huang N.F. An ensemble learning model for agricultural irrigation prediction. In Proceedings of the 2021 International Conference on Information Networking (ICOIN). Jeju Island, Korea. 2021. 311-316.
29. Overweg H., Berghuijs H.N.C., Athanasiadis I.N. CropGym: A reinforcement learning environment for crop management. arXiv. 2021. arXiv:2104.04326.
30. Yashaswini L.S., Vani H.U., Sinchana H.N., Kumar N. Smart automated irrigation system with disease prediction. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI). Chennai, China. 2017. 422-427.
31. Agastya C.S., Ghebremusse S., Anderson I., Reed C., Vahabi H., Aug C.V. Self-supervised contrastive learning for irrigation detection. arXiv. 2021. arXiv:2108.05484.
32. Albuquerque C.K.G., Polimante S., Torre-Neto A., Prati R.C. Water spray detection for smart irrigation systems with mask R-CNN and UAV Footage. IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry. Trento, Italy. 2020. 236-240.
33. Bellahirich S., Mezghani D., Mami A. Design and Implementation of an Intelligent ANFIS Controller on a Raspber-

- ry Pi Nano-Computer for Photovoltaic Pumping Intended for Drip Irrigation. *Energies*. 2021. N14. 5217.
34. Anuslu T. Smart Precision Agriculture with Autonomous Irrigation System Using RNN-Based Techniques. MEF University: Istanbul, Turkey. 2017.
35. Zhang C., Yue P., Di L., Wu Z. Automatic identification of center pivot irrigation systems from landsat images using convolutional neural networks. *Agriculture*. 2018. N8. 147.
36. Li T., Sahu A.K., Talwalkar A., Smith V. Federated learning: Challenges, methods, and future directions. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2020. N37. 50-60.
37. AgroWeather app. <https://www.appsforagri.com/en/agroweather-app/>.
38. Vuolo F., Essl L., Atzberger C. Costs and benefits of satellite-based tools for irrigation management. *Frontiers of Environmental Science*. 2015. N3. 52.
39. Andales A.A. Tactical irrigation management using the wise online tool. In Proceedings of the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference. Burlington, USA. 2017. 95-99.
40. Siddique T., Barua D., Ferdous Z., Chakrabarty A. Automated farming prediction. In Proceedings of the Intelligent Systems Conference. London, UK. 2017. 757-763.
41. Ogubuike R., Adib A., Orji R. Masa: AI-adaptive mobile app for sustainable agriculture. IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference. Vancouver, Canada. 2021. 1-7.
42. Фартуков В.А., Ханов Н.В. Технология контроля и дифференцированной подачи воды для полива // *Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки*. 2021. N6(87). С. 10-11.
43. Neethirajan S., Kemp B. Digital twins in livestock farming. *Animals*. 2021. N11. 1008.

REFERENCES

1. Fedosov A.Yu., Men'shikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A. Innovatsionnye tekhnologii orosheniya ovoshchnykh kul'tur [Innovative technologies for vegetable crop irrigation]. Moscow: Kim L.A. 2021. 306 (In Russian).
2. Fedosov A.Yu., Men'shikh A.M., Ivanova M.I. Defitsitnoe oroshenie ovoshchnykh kul'tur [Deficient irrigation of vegetable crops]. *Ovoshchi Rossii*. 2022. N3. 44-49 (In Russian).
3. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian).
4. Ronzhin A.L., Savel'ev A.I. Sistemy iskusstvennogo intellekta v reshenii zadach tsifrovizatsii i robotizatsii agropromyshlennogo kompleksa [Artificial intelligence systems for solving problems of agroindustrial complex digitalization and robotization]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N2. 22-29 (In Russian).
5. Kamyshova G.N. Modelirovanie neyroprognoziryuyushchego upravleniya dozhdeval'nymi mashinami [Modeling of neural predictive control of irrigation machines]. *Prirodobuystroystvo*. 2021. N1. 14-22 (In Russian).
6. Jaafar H., Kharroubi S.A. Views, practices and knowledge of farmers regarding smart irrigation apps: A national cross-sectional study in Lebanon. *Agricultural Water Management*. 2021. N248. 106759 (In English).
7. Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*. 2018. N18. 2674 (In English).
8. Ait Issad H., Aoudjit R., Rodrigues J.J.P.C. A comprehensive review of data mining techniques in smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019. N12. 511-525 (In English).
9. Çetin M., Yıldız S., Beyhan S. Water need models and irrigation decision systems: A survey on machine learning and control theory. arXiv. 2021. arXiv:2103.11133 (In English).
10. Hans K., Jayakumar A. A review of intelligent practices for irrigation prediction. arXiv. 2016. arXiv:1612.02893 (In English).
11. Jimenez A.F., Cardenas P.F., Canales A., Jimenez F., Portacio A. A survey on intelligent agents and multi-agents for irrigation scheduling. *Computers and electronics in agriculture*. 2020. N176. 105474 (In English).
12. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019. N2. 1-12 (In English).
13. Balducci F., Impedovo D., Pirlo G. Machine learning applications on agricultural datasets for smart farm enhancement. *Machines*. 2018. N6. 38 (In English).
14. Glória A., Cardoso J., Sebastião P. Sustainable irrigation system for farming supported by machine learning and real-time sensor data. *Sensors*. 2021. N21. 3079 (In English).
15. Abioye E.A., Hensel O., Esau T.J., Elijah O., Abidin M.S.Z., Ayobami A.S., Yerima O., Nasirahmadi A. Precision Irrigation Management Using Machine Learning and Digital Farming Solutions. *AgriEngineering*. 2022. N4. 70-103 (In English).
16. Mekonnen Y., Namuduri S., Burton L., Sarwat A., Bhansali S. Review – Machine learning techniques in wireless sensor network-based precision agriculture. *Journal of The Electrochemical Society*. 2020. N167. 037522 (In English).
17. Sayari S., Mahdavi-Meymand A., Zounemat-Kermani M. Irrigation water infiltration modeling using machine learning. *Computers and electronics in agriculture*. 2021. N180. 105921 (In English).
18. Kumar A., Surendra, A., Mohan H., Valliappan K.M., Kirthika N. Internet of things based smart irrigation using regression algorithm. In Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT) Internet. Kerala. India. 2017. 1652-1657(In English).
19. Gu W., Yi Z. Machine learning on minimizing irrigation water for lawns. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*. 2020. N8. 701-714 (In English).
20. Arulselvi G., Poornima D. Implementation of precision soil and water conservation agriculture (Pswca) through machine learning, cloud enabled IoT integration and wireless sensor network. *European Journal of Molecular & Clinical Medi-*



- cine. 2020. N7. 5426-5446 (In English).
21. Ramya S., Swetha A.M., Doraipandian M. IoT framework for smart irrigation using machine learning technique. *Journal of Computer Science*. 2020. N16. 355-363 (In English).
 22. Bhanu K.N., Mahadevaswamy H.S., Jasmine H.J. IoT based smart system for enhanced irrigation in agriculture. In Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems. Coimbatore. India. 2020. 760-765 (In English).
 23. Cagri Serdaroglu K., Onel C., Baydere S. IoT based smart plant irrigation system with enhanced learning. In Proceedings of the 2020 IEEE Computing, Communications and IoT Applications (ComComAp). Beijing. China. 2020 (In English).
 24. Shalini H., Aravinda C.V. An IoT-Based Predictive Analytics for Estimation of Rainfall for Irrigation. Springer: Singapore. 2021. V. 1133 (In English).
 25. Torres-Sanchez R., Navarro-Hellin H., Guillamon-Frutos A., San-Segundo R., Ruiz-Abellón M.C., Domingo-Miguel R. A decision support system for irrigation management: Analysis and implementation of different learning techniques. *Water*. 2020. N12. 548 (In English).
 26. Meivel S., Maheswari S. Standard agricultural drone data analytics using KNN algorithm. *Test Engineering and Management*. 2020. N82. 206-215 (In English).
 27. Nawandar N.K., Cheggoju N., Satpute V. ANN-based model to predict reference evapotranspiration for irrigation estimation. In Proceedings of the International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications. Hyderabad. India. Springer: Singapore. 2020. 671-679 (In English).
 28. Chen Y.A., Hsieh W.H., Ko Y.S., Huang N.F. An ensemble learning model for agricultural irrigation prediction. In Proceedings of the 2021 International Conference on Information Networking (ICOIN). Jeju Island. Korea. 2021. 311-316 (In English).
 29. Overweg H., Berghuijs H.N.C., Athanasiadis I.N. CropGym: A reinforcement learning environment for crop management. arXiv. 2021. arXiv:2104.04326 (In English).
 30. Yashaswini L.S., Vani H.U., Sinchana H.N., Kumar N. Smart automated irrigation system with disease prediction. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI). Chennai. China. 2017. 422-427 (In English).
 31. Agastya C.S., Ghebremusse S., Anderson I., Reed C., Vahabi H., Aug C.V. Self-supervised contrastive learning for irrigation detection. arXiv. 2021. arXiv: 2108. 05484 (In English).
 32. Albuquerque C.K.G., Polimante S., Torre-Neto A., Prati R.C. Water spray detection for smart irrigation systems with mask R-CNN and UAV Footage. IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry. Trento. Italy. 2020. 236-240 (In English).
 33. Bellahirich S., Mezghani D., Mami A. Design and Implementation of an Intelligent ANFIS Controller on a Raspberry Pi Nano-Computer for Photovoltaic Pumping Intended for Drip Irrigation. *Energies*. 2021. N14. 5217 (In English).
 34. Anuslu T. Smart Precision Agriculture with Autonomous Irrigation System Using RNN-Based Techniques. MEF University: Istanbul. Turkey. 2017 (In English).
 35. Zhang C., Yue P., Di L., Wu Z. Automatic identification of center pivot irrigation systems from landsat images using convolutional neural networks. *Agriculture*. 2018. N8. 147.
 36. Li T., Sahu A.K., Talwalkar A., Smith V. Federated learning: Challenges, methods, and future directions. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2020. N37. 50-60 (In English).
 37. AgroWeather app. <https://www.appsforagri.com/en/agroweather-app/>.
 38. Vuolo F., Essl L., Atzberger C. Costs and benefits of satellite-based tools for irrigation management. *Frontiers of Environmental Science*. 2015. N3. 52 (In English).
 39. Andales A.A. Tactical irrigation management using the wise online tool. In Proceedings of the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference. Burlington. USA. 2017. 95-99 (In English).
 40. Siddique T., Barua D., Ferdous Z., Chakrabarty A. Automated farming prediction. In Proceedings of the Intelligent Systems Conference. London. UK. 2017. 757-763 (In English).
 41. Ogubuike R., Adib A., Orji R. Masa: AI-adaptive mobile app for sustainable agriculture. IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference. Vancouver. Canada. 2021. 1-7 (In English).
 42. Fartukov V.A., Khanov N.V. Tekhnologiya kontrolya i differentsirovannoy podachi vody dlya poliva [Technology of control and differentiated water supply for irrigation]. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh. Seriya: tekhnicheskies i fiziko-matematicheskies nauki*. 2021. N6(87). 10-11 (In Russian).
 43. Neethirajan S., Kemp B. Digital twins in livestock farming. *Animals*. 2021. N11. 1008 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Федосов А.Ю. – концептуализация, методология, написание обзора;

Меньших А.М. – программное обеспечение, валидация, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ, визуализация.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Fedosov A.Yu. – conceptualization, methodology review writing.

Menshikh A.M. – software, validation, the manuscript revision, developing general conclusions and literature review, visualization.

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

05.08.2022

13.10.2022

УДК 637.112.5



DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59

Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ

Дмитрий Юрьевич Павкин,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;
Сергей Сергеевич Юрочка,
младший научный сотрудник,
e-mail: yurochkaSR@gmail.com;

Артем Рустамович Хакимов,
аспирант, младший научный сотрудник,
e-mail: arty.hv@gmail.com;
Игорь Мамедяревич Довлатов,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметили недостатки существующих на рынке весовых платформ для взвешивания молочного скота при бонитировке. Предложили определять упитанность животных путем сканирования крестца оптическими системами, что позволяет отслеживать их физиологическое состояние и в случае нарушений оперативно изменять рацион. (*Цель исследования*) Разработать модульную систему цифровизации бонитировочных работ при условии автономности и независимости модулей. (*Материалы и методы*) Приняли во внимание необходимость интегрирования в общую систему фермы с использованием единого интернет-пространства. Предусмотрели 4 модуля. Составили алгоритм бонитировки и сопоставили его со схемой расположения модулей, чтобы оценить масштабы работы по цифровизации бонитировочных работ. В модуле взвешивания установили 4 тензометрических датчика. (*Результаты и обсуждение*) Доказали, что модуль осуществляет высокоточное (точность С3) взвешивание животных независимо от их движения и расположения в боксе, результаты выводятся на дисплей единого блока управления. Камеру модуля технического зрения расположили на высоте 2200 миллиметров, что исключает ее повреждение животными и обеспечивает беспрепятственный обзор для трехмерной ToF-камеры. Транспортировочные габариты прототипа системы составляют: длина – 2500 миллиметров, ширина – 1564, высота – 2118 миллиметров. Общая масса изготовленной системы, включая исходную платформу, составляет ориентировочно 620-640 килограммов. (*Выводы*) Разработали и создали модульную систему цифровизации бонитировочных работ. Выявили, что погрешность модуля взвешивания при испытании с вариантами эталонной массы 655 и 1200 килограммов была менее 1 процента.

Ключевые слова: молочная ферма, цифровизация, автоматизация, бонитировочные работы, модульная система цифровизации бонитировочных работ.

■ **Для цитирования:** Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Хакимов А.Р., Довлатов И.М. Разработка модульной системы цифровизации бонитировочных работ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 54-59. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59. EDN XRKEBK.

Development of a Modular System for Digitalization of Appraisal Process

Dmitry Yu. Pavkin,
Ph.D.(Eng.), head of laboratory,
e-mail: dimqaqa@mail.ru;
Sergey S. Yurochka,
junior researcher,
e-mail: yurochkaSR@gmail.com;

Artem R. Khakimov,
Ph.D. student, junior researcher,
e-mail: arty.hv@gmail.com;
Igor M. Dovlatov,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: dovlatovim@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It is noted that the existing weighing platforms for weighing dairy cattle demonstrate certain shortcomings during the grading process. It was proposed to determine the fatness of animals by scanning their sacrum with optical systems, which allows monitoring their physiological state and, in case of deterioration, promptly change the diet. (*Research purpose*) To develop a modular system for the digitalization of appraisal process ensuring the autonomy and independence of modules. (*Materials and*

methods) The emphasis is paid on the necessity of integrating into the whole farm system by using a unified Internet space. The development of a modular system for digitalization of appraisal was divided into 4 modules. A grading algorithm was worked out and compared with the layout diagram of the modules in order to assess the volume of work on the grading digitalization. Four strain gauges were installed in the weighing module. (*Results and discussion*) It was proved that the module provides high-precision weighing of animals (C3 accuracy), regardless of the external influence factors such as cow movements and the asymmetrical position of the cow inside the system box. The results can be displayed on the display of a single control unit. The camera of the vision module was placed at a height of 2,200 millimeters, which eliminates it being damaged by the animals and provides an unobstructed view for the 3D ToF camera. The transportation dimensions of the system prototype are as follows: length – 2,500 millimeters, width – 1,564, height – 2,118 millimeters. The total mass of the manufactured system, including the original platform, is approximately 620-640 kilograms. (*Conclusions*) A modular system for digitalization of appraisal work has been successfully developed and created. The weighing module was tested revealing an error of less than 1 percent, when testing the system with a reference mass of 655 kilograms and that of 1,200 kilograms.

Keywords: dairy farm, digitalization, automation, appraisal work, modular system for digitalization of appraisal work.

■ For citation: Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Khakimov A.R., Dovlatov I.M. Razrabotka modul'noy sistemy tsifrovizatsii bonitirovochnykh rabot [Development of a modular system for digitalization of appraisal process]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 54-59 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-54-59. EDN XRKEBK.

Современные молочные фермы ориентированы на автоматизированное цифровое производство и применение современных технологий [1-3]. Здесь проводят исследования по механизации, электрификации и автоматизации для сельского хозяйства [4]. Например, интеллектуальные сенсорные технологии уже используются для диагностики различных болезней скота [5]. Важным этапом развития молочных ферм стала цифровизация бонитировочных работ, которые позволяют выявлять нарушения содержания животных [6, 7]. Изменение живой массы свидетельствует о физиологическом состоянии молочных коров, в соответствии с которым составляют кормовой рацион [8-11]. При взвешивании необходимо учитывать все параметры, влияющие на точность измерения, например налипание грязи или расположение животного на весовой платформе.

Раньше для сбора данных использовали стандартные цифровые цветные видеокамеры. В исследованиях, опубликованных после 2013 г., все чаще стали применять 3D-камеры. Появилась возможность моделировать человеческое трехмерное зрение. Это означает, что при правильном обучении техническое зрение может стать аналогом работы зооинженера.

Цифровизация бонитировочных работ – это многоэтапный процесс. Он включает в себя несколько крупных модулей, определенных на основе анализа [12-13]:

- интеллектуальный модуль взвешивания;
- модуль технического зрения, предназначенный для определения упитанности животных;
- единый блок управления системой;
- автоматические ворота бонитировочного станка, обеспечивающие безопасный вход/выход животных, а также их нахождение внутри во время проведения бонитировочных работ.

Цель исследования – разработка модульной си-

стемы цифровизации бонитировочных работ при условии автономности и независимости модулей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Модульную систему цифровизации бонитировочных работ разрабатывали с учетом необходимости интегрировать ее в общую систему фермы с использованием единого интернет-пространства.

Важно обеспечить независимость перечисленных выше четырех модулей, чтобы отключать и подключать каждый из них без влияния на остальную систему. Еще одно условие, которое учитывали при создании системы, – ее мобильность.

Алгоритм бонитировки сопоставили со схемой расположения модулей, чтобы оценить масштабы работы по цифровизации (*рис. 1*). Выделили этапы бонитировочных работ, автоматизированные разработанной системой. При проектировании системы использовали конструкторское программное обеспечение *Kompas 3D*.

В модуле автоматических ворот предусмотрена установка пневмоцилиндров для приведения в движение автоматических ворот. Использовали пневмоцилиндры *Camoszi 60M2L050A0500* с диаметром 50 мм и длиной хода поршня 500 мм. Активация и управление осуществляются через единый блок управления.

В модуле определения живой массы животных использован комплект из четырех тензорезисторных датчиков (входное сопротивление 400 ± 20 Ом, выходное – 352 ± 2 Ом). В процессе взвешивания животные постоянно двигаются, поэтому вычислить их реальную живую массу можно только с помощью весов, оснащенных функцией удержания и усреднения показателей. Тензометрические датчики выбраны как наиболее эффективные на основании литературного исследования [14-16]. Это датчики балочного типа, рабочая нагрузка на каждый из них – 2,5 т, класс точности – C3 (*рис. 2*). Все они подключены к единому

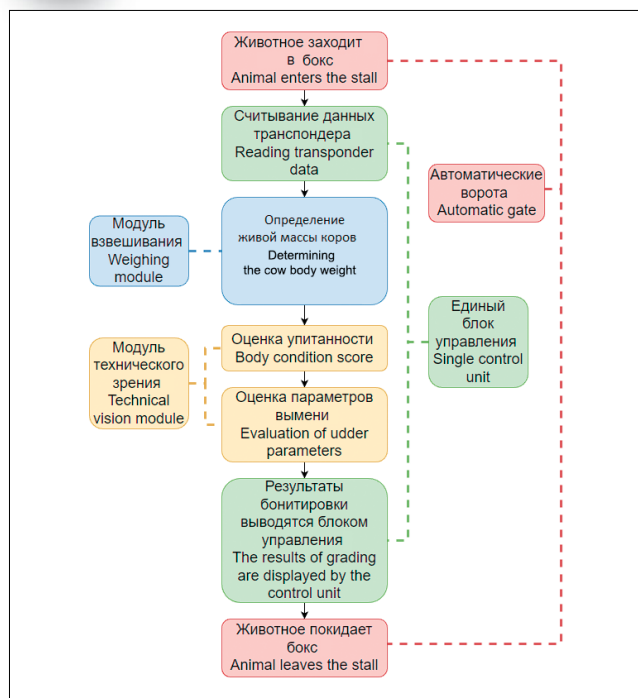


Рис. 1. Этапы алгоритма бонитировки, цифровизированные разработанными модулями

Fig. 1. Grading algorithm stages digitized by the modules developed

блоку управления. На его дисплее отражаются все результаты. Движение коровы или ее несимметричное положение внутри станка не влияют на точность измерения.

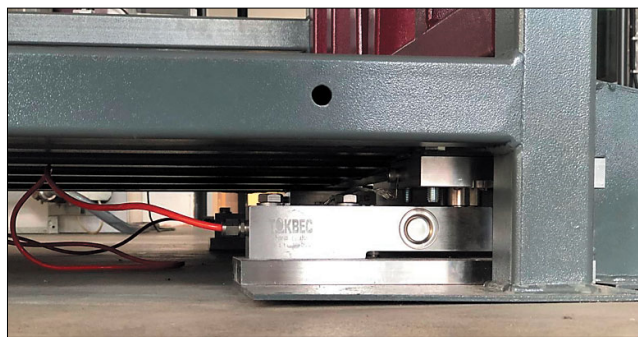


Рис. 2. Тензометрический датчик модуля взвешивания

Fig. 2. One of the strain gauge sensors of the weighing module

Модуль технического зрения, обеспечивающий определение упитанности животных, использует трехмерные ToF-камеры технического зрения (с встроенной инфракрасной подсветкой 850 нм и разрешением 352×264 пикселей).

Единый блок управления системой включает подключение и питание модулей, а также компьютер для управления ними. Для управления элементами разработанной системы использовали панельный компьютер с установленной системой Windows 10 (64 бит), объемом оперативной памяти 4 Гб, с жестким диском на 250 Гб, частота процессора 1,99 ГГц.

В качестве основы для системы цифровизации бо-

нитировочных работ использовали экспериментальный бонитировочный проходной станок прямоугольной формы. Каркас и узлы станка сконструированы на основе труб из стали марки ст20. Ворота, весовая платформа, боковые стенки, пандусы и верхние крепежные элементы собраны методом сварки. Между собой элементы закреплены на болтовые соединения. Габариты – 2500×1564×2118 мм. Максимальная возможная живая масса исследуемого животного, которая может быть безопасно взвешена в системе, – 1200 кг.

Результаты и обсуждение. Каждый из разработанных модулей автоматизирует определенную часть бонитировки (рис. 3):

1. Автоматические ворота бонитировочного станка обеспечивают вход/выход животного в, и удержание прохода закрытым во время бонитировки;

2. Модуль взвешивания отражает точные показатели независимо от положения и движения животного во время бонитировки;

3. Модуль технического зрения проводит оценку упитанности и параметров вымени животного в автоматическом режиме;

4. Единый блок управления осуществляет питание, управление и сбор данных со всех модулей системы.

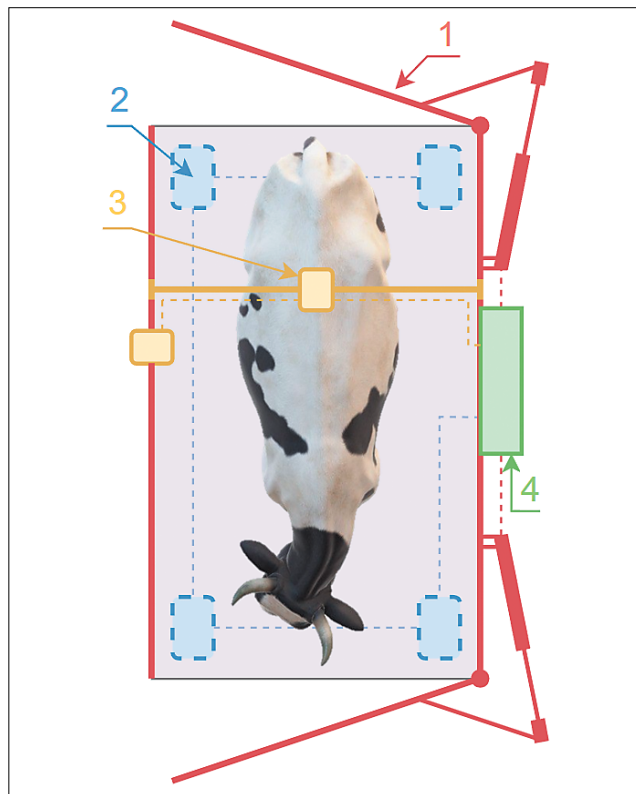


Рис. 3. Схема модулей цифровизации: 1 – автоматические ворота; 2 – модуль взвешивания; 3 – модуль технического зрения; 4 – единый блок управления

Fig. 3. Diagram of digitalization modules: 1 – an automatic gate; 2 – a weighing module; 3 – a technical vision module; 4 – a single control unit

Входные автоматические ворота активируются при начале бонитировки, открывая проход в станок. Когда животное оказывается внутри бокса, ворота закрываются. После окончания бонитировки выходные автоматические ворота открываются. Входные автоматические ворота не открываются, пока не закрыты выходные.

Испытания модуля взвешивания проводили эталонной массой 655 и 1200 кг, что соответствует средней живой массе молочных высокопродуктивных коров и предельной живой массе быков-производителей. Работоспособность и надежность весовой платформы была доказана в ходе прочностных расчетов.

Для выявления погрешности весовой системы проведено по 5 измерений в каждом из вариантов. Весовой модуль совершает по 5 измерений в секунду каждым тензометрическим датчиком, затем конвертирует полученные сигналы по интерфейсу RS485 в фактическую массу объекта, находящегося на весовой платформе.

При измерении массы эталонных образцов (655 кг и 1200 кг) погрешность измерений не превышает 1% (таблица). Для сравнения напомним, что на некоторых фермах при отсутствии возможности взвешивания на точных весах для определения живой массы до сих пор применяют расчетный метод на основании промеров (высоты в холке, обхвата груди за лопатками, косой длины туловища). В этом случае погрешность может достигать 40 кг.

Таблица						Table					
Погрешность при испытании модуля*, %						MODULE TEST ERROR*, %.					
Фактическая масса эталонных образцов, кг						Actual mass of reference samples, kg					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
655	0,89	0,91	0,88	0,95	0,91	655	0,89	0,91	0,88	0,95	0,91
1200	0,85	0,86	0,94	0,94	0,88	1200	0,85	0,86	0,94	0,94	0,88

*Установленный режим: 5-кратное определение веса четырьмя тензометрическими датчиками в секунду

*The set mode: 5-fold weight determination by four strain gauges per second

Модуль технического зрения установлен на рейке и оснащен специально разработанным защитным стальным корпусом (рис. 4).

Модуль технического зрения для определения упитанности расположен на высоте 2200 мм под углом 15° (рис. 4а). При апертурных углах обзора камеры 60 и 45° в один кадр попадает только часть задняя часть животного – от корня хвоста до середины позвоночника. Для анализа и идентификации балла упитанности в работу поступает область позвоночника от корня хвоста до маклоков. Испытания модуля определения упитанности проводили на ферме, оценив по 5-балльной шкале 34 коровы на разных стадиях лак-

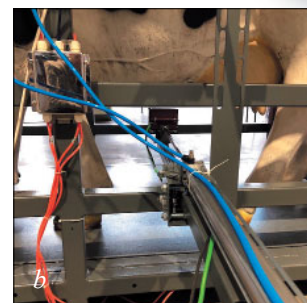
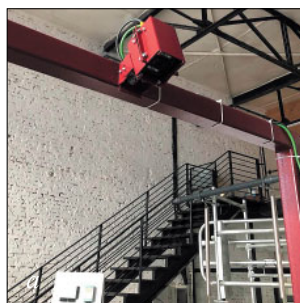


Рис. 4. Расположение модулей технического зрения:

а – сверху; б – сбоку

Fig. 4. Location of the technical vision modules: a – top; b – side

тации [17, 18]. Модуль технического зрения для оценки линейных параметров вымени учитывал 26 показателей (рис. 4б).

Применение модулей технического зрения допустимо для интеграции с алгоритмом оценки физиологического состояния животных.

Единый блок управления системой установлен на внешней стороне ограждения бокса (рис. 5). Все остальные модули подключены к нему с помощью защищенных жгутов.



Рис. 5. Единый блок управления системой

Fig. 5. Single control unit of the system

Корпус единого блока управления системы выполнен из металла. Для доступа к дисплею предусмотрено окно, защищенное от воды и пыли. Фактическая масса изготовленной системы, включая исходную платформу, составляет ориентировочно 640 кг.

Выводы. Разработали систему частичной цифровизации бонитировочных работ, которая позволяет гибко изменять количество активированных модулей под задачи производства.

Погрешность при испытании модуля взвешивания составила менее 1%.

Установили, что для функционирования системы необходим только единый модуль управления, а три подключаемых модуля используются в зависимости от задачи.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право по-

лучения гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых –кандидатов наук – МК-2513.2022.4.

The work is supported by the Grant of the President of the Russian Federation for young Ph.D. holders – MK-2513.2022.4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Büscher W. Digitization of the barn – current status and perspectives. *Züchtungskunde*. 2019. Vol. 91. N1. 35-44.
2. Burmistrov D.E., Pavkin D.Y., Khakimov A.R., Ignatenko D.N., Nikitin E.A., Lednev V.N., Lobachevsky Y.P., Gudkov S.V., Zvyagin A.V. Application of Optical Quality Control Technologies in the Dairy Industry: An Overview. *Photonics*. 2021. N8. 551.
3. Khakimov A.R., Pavkin D.Y., Yurochka S.S., Astashev M.E., Dovlatov I.M. Development of an Algorithm for Rapid Herd Evaluation and Predicting Milk Yield of Mastitis Cows Based on Infrared Thermography. *Applied Sciences*. 2022. N12. 6621.
4. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве // *Техника и оборудование для села*. 2022. N3(297). С. 2-6.
5. Feng L.Q., Wei L.J., Hong M.W. Yu D.L., Yang Y.Q. Research progress of intelligent sensing technology for diagnosis of livestock and poultry diseases. *Scientia Agricultura Sinica*. 2021. N54(11). 2445-2463.
6. Daros R.R., Weary D.M., von Keyserlingk M.A.G. Invited review: Risk factors for transition period disease in intensive grazing and housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2022. N105(6). 4734-4748.
7. Wurtz K., Camerlink I., D'Eath R.B., Fernández A.P., Norton T., Steibel J., Siegford J. Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review. *PLoS ONE*. 2019. N14(12).
8. Сатдыкова Ю.С., Горелик О.В., Неверова О.П. Эффективность производства молока в зависимости от живой массы коров-первотелок // *Молодежь и наука*. 2020. N11.
9. Косилов В.И., Никонова Е.А., Джалов А.Г. Потребление и использование кормов и энергии рациона телками черно-пестрой породы и ее помесями // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. N4(60). С. 124-127.
10. Вильвер Д.С., Фомина А.А. Влияние энергетической кормовой добавки на изменчивость показателей молочной продуктивности коров черно-пестрой породы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. N1(63). С. 140-142.
11. Morales-Piñeyrua J.T., Damián J.P., Banchero G., Blache D., Sant'Anna A.C. Metabolic profile and productivity of dairy Holstein cows milked by a pasture-based automatic milking system during early lactation: Effects of cow temperament and parity. *Research in Veterinary Science*. 2022. 147. 50-59.
12. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Жмылев В.А. Модуль базовой станции приема-передачи данных физиологического состояния КРС // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. N1. С. 28-34.
13. Довлатов И.М., Юрочка С.С. Разработка энергоэффективной системы микроклимата для беспривязного содержания дойного стада // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N3. С. 73-80.
14. Краусп В.Р., Харатьян Г.А. Контроль живой массы и диагностика состояния здоровья крупного рогатого скота // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N6(21). С. 46-51.
15. Харатьян Г.А., Дубровин А.В., Суюнчалиев Р.С. Новая технологическая линия автоматизированного контроля живой массы и численности поголовья овец в пастбищных условиях их содержания // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2015. N8. 19-22.
16. Manshin Yu.P., Manshina E.Yu., Geue M. About the dynamic error of strain gauge torque measuring devices. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 2131(5).
17. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Шилин Д.В., Рузин С.С. Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии // *Агроинженерия*. 2021. N2(102). С. 39-44.
18. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.

REFERENCES

1. Büscher W. Digitization of the barn – current status and perspectives. *Züchtungskunde*. 2019. Vol. 91. N1. 35-44 (In English).
2. Burmistrov D.E., Pavkin D.Y., Khakimov A.R., Ignatenko D.N., Nikitin E.A., Lednev V.N., Lobachevsky Y.P., Gudkov S.V., Zvyagin A.V. Application of Optical Quality Control Technologies in the Dairy Industry: An Overview. *Photonics*. 2021. N8. 551 (In English).
3. Khakimov A.R., Pavkin D.Y., Yurochka S.S., Astashev M.E., Dovlatov I.M. Development of an Algorithm for Rapid Herd Evaluation and Predicting Milk Yield of Mastitis Cows Based on Infrared Thermography. *Applied Sciences*. 2022. N12. 6621 (In English).
4. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy agroinzhenernykh nauchnykh organizatsiy po razvitiyu tsifrovyykh sistem v sel'skom khozyaystve [The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N3(297). 2-6 (In Russian).

5. Feng L.Q., Wei L.J., Hong M.W. Yu D.L., Yang Y.Q. Research progress of intelligent sensing technology for diagnosis of livestock and poultry diseases. *Scientia Agricultura Sinica*. 2021. N54(11). 2445-2463 (In English).
6. Daros R.R., Weary D.M., von Keyserlingk M.A.G. Invited review: Risk factors for transition period disease in intensive grazing and housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2022. N105(6). 4734-4748 (In English).
7. Wurtz K., Camerlink I., D'Eath R.B., Fernández A.P., Norton T., Steibel J., Siegford J. Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review. *PLoS ONE*. 2019. N14(12) (In English).
8. Satdykova Yu.S., Gorelik O.V., Neverova O.P. Effektivnost' proizvodstva moloka v zavisimosti ot zhivoy massy korov-pervotelok [Efficiency of milk production depending on the body weight of first-calf heifers]. *Molodezh' i nauka*. 2020. N11 (In Russian).
9. Kosilov V.I., Nikonova E.A., Dzhahlov A.G. Potreblenie i ispol'zovanie kormov i energii ratsiona telkami cherno-pestroy porody i ee pomesyami [Consumption and utilization of feeds and energy of the ration by black-spotted heifers and their hybrids]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N4(60). 124-127 (In Russian).
10. Vil'ver D.S., Fomina A.A. Vliyanie energeticheskoy kormovoy dobavki na izmenchivost' pokazateley molochnoy produktivnosti korov chorno-pyostroy porody [Effect of energy feed additive on the variability of milk yields indices in black-spotted cows]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. N1(63). 140-142 (In Russian).
11. Morales-Piñeyra J.T., Damián J.P., Banchero G., Blache D., Sant'Anna A.C. Metabolic profile and productivity of dairy Holstein cows milked by a pasture-based automatic milking system during early lactation: Effects of cow temperament and parity. *Research in Veterinary Science*. 2022. 147. 50-59 (In English).
12. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Dovlatov I.M., Zhmylev V.A. Modul' bazovoy stantsii priema-peredachi dannykh fiziologicheskogo sostoyaniya KRS [Base station module for receiving and transmitting data on the physiological state of cattle]. *Agroinzheneriya*. 2022. Vol. 24. N1. 28-34 (In Russian).
13. Dovlatov I.M., Yurochka S.S. Razrabotka energoeffektivnoy sistemy mikroklimata dlya besprivyaznogo soderzhaniya doynogo stada [Development of an energy-efficient microclimate system for dairy herd loose keeping]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 73-80 (In Russian).
14. Krausp V.R., Kharatyan G.A. Kontrol' zhivoy massy i diagnostika sostoyaniya zdorov'ya krupnogo rogatogo skota [Body weight control and health diagnostics of cattle]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N6(21). 46-51 (In Russian).
15. Kharatyan G.A., Dubrovin A.V., Suyunchaliev R.S. Novaya tekhnologicheskaya liniya avtomatizirovannogo kontrolya zhivoy massy i chislennosti pogolov'ya ovets v pastbishnykh usloviyakh ikh soderzhaniya [New technological line for automated control of body weight and number of sheep in grazing conditions]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2015. N8. 19-22 (In Russian).
16. Manshin Yu.P., Manshina E.Yu., Geue M. About the dynamic error of strain gauge torque measuring devices. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 2131(5) (In English).
17. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Shilin D.V., Ruzin S.S. Beskontaktnaya otsenka upitannosti molochnykh korov s ispol'zovaniem ToF-tekhnologii [Non-contact body condition score of dairy cows based on ToF-technology]. *Agroinzheneriya*. 2021. N2(102). 39-44 (In Russian).
18. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologii i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Павкин Д.Ю. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;
 Юрочка С.С. – исследование задач бонитировочных работ, проектирование модулей;
 Хакимов А.Р. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста и визуализация;
 Довлатов И.М. – литературный анализ, доработка текста и общих выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Pavkin D.Yu. – scientific guidance, formulation of the research main concepts;
 Yurochka S.S. – investigating the appraisal work tasks, designing the modules;
 Khakimov A.R. – literature review, research results processing, text formation and visualization;
 Dovlatov I.M. – literature review, finalizing the text and general 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

07.09.2022

01.11.2022

Методика инженерного расчета рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей

Сергей Иванович Камбулов^{1,2},
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник, профессор,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Виктор Борисович Рыков^{1,2},
доктор технических наук,
главный научный сотрудник, профессор,
e-mail: rikovvb@gmail.com;

Игорь Владимирович Божко¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Дмитрий Сергеевич Подлесный²,
старший преподаватель,
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Показали, что для получения продовольственного зерна высокого качества важна обработка почвы паровых полей в летний период. Отметим необходимость проектного расчета рабочих органов, так как существующие почвообрабатывающие машины и орудия не в полной мере обеспечивают выполнение этого технологического процесса. (*Цель исследования*) Разработать методику инженерного расчета параметров рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период. (*Материалы и методы*) Провели анализ конструкций рабочих органов. Выявили, что часть используемых рабочих органов выносит значительное количество влажных слоев почвы на поверхность, а другая часть не обеспечивает стабильной глубины обработки (4-6 сантиметров) или не полностью уничтожает сорную растительность. Предложили методику инженерного расчета, где учитывали следующие параметры рабочего органа: углы постановки нижней части к линии движения и к горизонту, верхней части – к горизонту, радиус сопряжений верхней и нижней частей, общую длину режущей кромки. (*Результаты и обсуждение*) Создали конструкцию рабочего органа, отвечающую агротехническим требованиям. Получили параметры конструкции рабочего органа: пределы угла постановки нижней части к линии движения 38-42 градуса, к горизонту – 15-18 градусов, верхней части в продольно-вертикальной и в поперечно-вертикальной плоскостях – 38-42 градуса, радиус сопряжения верхней и нижней частей – в пределах 0,2-0,3 миллиметра, длина режущей кромки 282 миллиметра. (*Выводы*) Разработали методику инженерного расчета параметров проектируемых рабочих органов для сплошной обработки почвы паровых полей в зависимости от физико-механических свойств почвы и требуемых показателей технологического процесса. **Ключевые слова:** почвообработка парового поля, методика инженерного расчета, рабочий орган, культиватор для сплошной обработки почвы.

■ **Для цитирования:** Камбулов С.И., Рыков В.Б., Божко И.В., Подлесный Д.С. Методика инженерного расчета рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 60-67. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-60-67. EDN VKYJKE.

Methodology for Engineering Calculation of the Working Body for Continuous Fallow Field Tillage

Sergey I. Kambulov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher, professor,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Viktor B. Rykov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, professor,
e-mail: rikovvb@gmail.com;

Igor V. Bozhko¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Dmitriy S. Podlesnyy²,
senior lecturer,
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

¹Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. Tillage of fallow fields in summer is shown to be important for obtaining high quality food grains. The need for the engineering calculation of working bodies is emphasized, since the existing tillage machines and tools do not fully ensure the

implementation of this technological process. (*Research purpose*) To develop a methodology for engineering calculation of the working body parameters for continuous fallow field tillage in summer. (*Materials and methods*) An analysis of the working body design has been conducted. It reveals that some of the working bodies bring a significant amount of wet soil layers to the surface, and others do not ensure a stable processing depth (4-6 centimeters) or do not completely destroy weeds. An engineering calculation method is proposed. It takes into account the following parameters of the working body: the angles of setting the lower part against the motion line and against the horizon, the angle of setting the upper part against the horizon, the conjugation radius of the upper and lower parts, the length of the cutting edge. (*Results and discussion*) A working body design is created meeting the agrotechnical requirements. The following parameters of the working body design are obtained: the angle of setting the lower part against the motion line is within 38-42 degrees and against the horizon – within 15-18 degrees, the angle of the upper part in the longitudinal-vertical and transverse-vertical planes is within 38-42 degrees, the conjugation radius of the upper and lower parts is within 0.2-0.3 millimeters, and the cutting edge length is of 282 millimeters. (*Conclusions*) A methodology for engineering calculation of the designed working body parameters is developed. It enables continuous fallow field tillage taking into account the soil physical and mechanical properties and the required indicators of the technological process.

Keywords: fallow field tillage, engineering calculation technique, working body, cultivator for continuous tillage.

■ **For citation:** Kambulov S.I., Rykov V.B., Bozhko I.V., Podlesnyy D.S. Metodika inzhenernogo rascheta rabocheho organa dlya sploshnoy obrabotki pochvy parovykh poley [Methodology for engineering calculation of the working body for continuous fallow field tillage]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 60-67 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-60-67. EDN VKYJKE.

Высокие урожаи озимых культур, в том числе пшеницы, в условиях недостатка влаги в южной степной зоне России можно гарантированно получать только на паровых полях. В зависимости от почвенно-климатических условий в степной зоне Северного Кавказа находят применение, по крайней мере, четыре основные технологии обработки паров, различающиеся как по способу основной обработки (отвальная и безотвальная), так и по времени ее проведения (черные, если основная обработка проводится осенью, и ранние, если основная обработка проводится весной в год посева озимых).

Известные ученые-земледельцы южной зоны России Н.Н. Бородин и И.Г. Калинин в своих трудах подчеркивают необходимость послейной обработки паровых полей: с большой глубины (14-18 см) с постепенным уменьшением до 5-6 см по мере приближения к сроку посева озимых. Они отмечают также недопустимость обработки паровых полей во второй половине лета глубже 8 см.

Существующими почвообрабатывающими машинами и орудиями, обычно оснащенными рабочими органами в виде стрелчатых лап, обеспечить глубину обработки паровых полей 4-6 см в летний период без выноса влажных слоев на поверхность практически невозможно. При этом в конечном итоге иссушается верхний почвенный горизонт и не обеспечиваются условия для последующего высева семян во влажную почву [1-4].

Цель исследований – разработать методику инженерного расчета параметров рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период.

Материалы и методы. Рабочие органы к культиваторам для сплошной обработки почвы, которые ус-

ловно относятся к влагосберегающим, можно объединить в следующие группы (*таблица*).

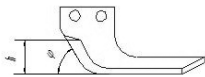
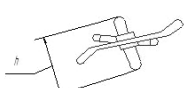
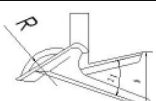
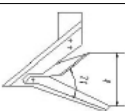
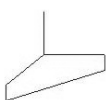
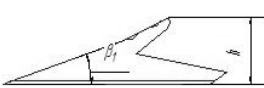
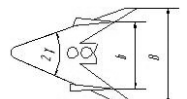
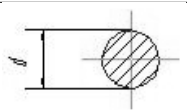
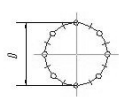
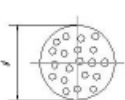
Анализ представленных конструкций и имеющихся данных сравнительной их агротехнической оценки показывает, что часть из используемых рабочих органов выносят значительное количество влажных слоев на поверхность [5-10]. Другая часть не обеспечивает стабильной глубины обработки (4-6 см) или не полностью уничтожает сорную растительность [11-15].

С учетом этого в АНЦ «Донской» разработали рабочий орган для сплошной обработки паровых полей, который содержит два узких односторонних плоскорежущих крыла, установленных на держателе совместно с долотообразным ножом (*рис. 1*).

Такой рабочий орган может быть установлен как индивидуально на раму парового культиватора, так и по несколько штук на дополнительную рамку при грядильной подвеске. Основные элементы предлагаемого рабочего органа для паровых культиваторов – односторонние плоскорежущие крылья (левое и правое), обеспечивающие рыхление почвы на требуемую глубину, в том числе и минимальную (4-6 см), 100%-ное подрезание сорняков, а также исключают вынос влажных слоев почвы на поверхность.

Результаты и обсуждение. При проектировании рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей необходимо установить следующие параметры:

- угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения;
- углы α и φ постановки верхней части рабочего органа в поперечной и продольно-вертикальной плоскостях к горизонту;
- угол ω постановки нижней части рабочего органа

Таблица		РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ СПЛОШНОЙ, МЕЛКОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ WORKING BODIES FOR CONTINUOUS, SHALLOW AND SURFACE TILLAGE				Table
Наименование Name	Схема рабочего органа Working body diagram	Техническая характеристика / Technical specifications				
		глубина обработки, см tillage depth, cm	ширина захвата, см working width, cm	угол крошения, град. crumble angle, deg.	базовая машина basic machine	
Узкая односторонняя лапа Narrow one-sided paw		4-6	18	15	паровой культиватор / steam cultivator	
Звено шлейфа Element plume		2-3	10	переменный variable		
Сегментная спаренная односторонняя лапа Segmental coupled one-sided paw		6-8	35	15		
Черенковая спаренная односторонняя лапа Shank coupled one-sided paw		6-8	33	15		
Струна String		6	30-40	0		
Плоскорежущая односторонняя лапа Flat cutting one-sided paw		5	140	28	культиватор / Cultivator	
Универсальная стрелчатая лапа Universal lancet paw		6-12	33,0-38,5	28		
Стрелчатая лапа с хвостовиком и стабилизаторами Lancet paw with shank and stabilizers		6-12	22	28		
Плоскорежущая стрелчатая лапа Flat cutting lancet paw		6-14	40	15	орудие для предпосевной обработки почвы ОП-8 / Tool for pre-sowing tillage OP-8	
Круглая штанга Round rod		5-8	180-200	переменный variable		
Ротационный каток Rotary roller		0-2	180-200	0		
Гибкий рабочий орган Flexible working body		6	200	—	прицепное секционное орудие Trailed section implement	

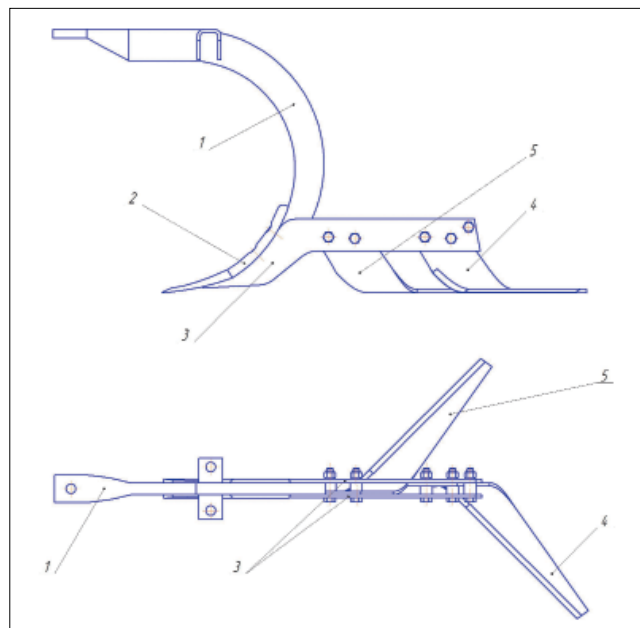


Рис. 1. Схема рабочего органа для сплошной обработки почвы: 1 – стойка; 2 – долотообразный нож; 3 – держатель; 4 – левостороннее плоскорежущее крыло; 5 – правостороннее плоскорежущее крыло

Fig. 1. Working body for continuous tillage: 1 – stand; 2 – chisel-shaped knife; 3 – holder; 4 – left-hand flat-cutting wing; 5 – right-hand flat-cutting wing

на к горизонту. Исходные параметры для расчета принимаются в зависимости от предполагаемого к применению тягового класса трактора и ширины захвата проектируемой почвообрабатывающей машины [16], а также от количества применяемых рабочих органов [17-19].

Угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения определяется следующим выражением (рис. 2):

$$\sin \gamma = \frac{B_1 + B_{II}}{l - \Delta l - \frac{R \cdot \pi \cdot \Theta}{180}} \quad (1)$$

где B_1 – ширина полос, обрабатываемых проектируемым рабочим органом, мм ($B_1 = 90$ мм);

B_{II} – перекрытие между рабочими органами, мм ($B_{II} = 39,5$ мм);

l – длина режущей кромки рабочего органа, мм, $l = 282$ мм (рис. 2b и выражение 8);

Δl – длина режущей кромки от верхнего перегиба до ее верхнего окончания, мм (при $R_{\max} \Delta l = 23$ мм, при $R_{\min} \Delta l = 29$ мм);

R – радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм;

Θ – угол, образуемый в развертке пересечением лезвия щитка и лезвия крыла, град.:

$$\operatorname{ctg} \Theta = \frac{\sin \mu}{\operatorname{tg} \gamma_0}; \quad \Theta = 85^\circ, \quad (2)$$

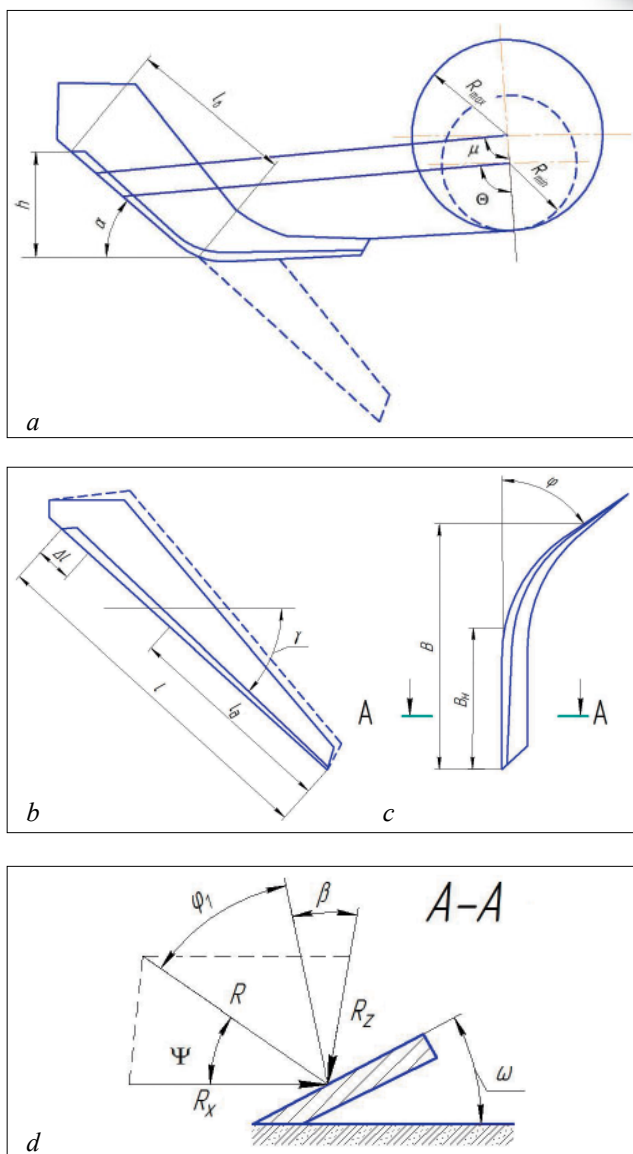


Рис. 2. Одностороннее плоскорежущее крыло (элемент рабочего органа для сплошной обработки почвы): а – вид сбоку; б – развертка; с – вид спереди; д – сечение АА, силы, действующие на горизонтальную часть рабочего органа; α – угол постановки рабочего органа к линии движения, град.; h – толщина обрабатываемого слоя, мм; l – длина верхней части режущей кромки рабочего органа, мм; $R_{\max}$ – максимальный радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм; $R_{\min}$ – минимальный радиус сопряжений нижней и верхней частей рабочего органа, мм; μ – угол между линиями перегиба и горизонтом, град.; Θ – угол, образуемый в развертке пересечением лезвия щитка и лезвия крыла, град.; γ – угол постановки нижней части рабочего органа к линии движения, град.; Δl – длина режущей кромки от верхнего перегиба до ее верхнего окончания, мм; l – длина режущей кромки рабочего органа, мм; l_a – действительная длина режущей кромки рабочего органа от нижней линии перегиба до ее окончания, мм; B – ширина захвата рабочего органа, мм; B_{II} – ширина нижней части режущей кромки рабочего органа, мм; ϕ – угол постановки верхней части рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости, град.; R_x – горизонтальная со-

ставляющая силы, действующая на нижнюю часть рабочего органа; R_z – вертикальная составляющая силы, действующая на нижнюю часть рабочего органа; R – результирующая всех сил, действующих на нижнюю часть рабочего органа; Ψ – угол, заключенный между R_x и R , град.; φ_1 – угол трения почвы о сталь, град.; β – угол крошения, град.; ω – угол постановки нижней части рабочего органа к горизонту, град.

Fig. 2. One-sided flat cutting wing (element of the working body for continuous tillage): a – side view; b – sweep; c – front view; d – AA section: forces acting on the horizontal part of the working body; α – the angle of setting the working body against the motion line, degrees; h – the thickness of the processed layer, mm; l_b – the length of the upper part of the working body cutting edge, mm; R_{max} – the maximum conjugation radius of the working body lower and upper parts, mm; R_{min} – the minimum conjugation radius of the working body lower and upper parts of, mm; μ – the angle between the inflection lines and the horizon, degrees; Θ – the angle formed in the sweep by the intersection of the shield blade and the wing blade, degrees; γ – the angle of setting the working body lower part against the line of motion, degrees; Δl – the length of the cutting edge from the top bend to its top end, mm; l – the length of the working body cutting edge, mm; l_d – the actual length of the working body cutting edge from the lower inflection line to its end, mm; B – the working body width, mm; B_H – the width of the lower part of the working body cutting edge, mm; φ – the angle of setting the working body upper part in the longitudinal-vertical plane, degrees; R_x – the horizontal component of the force acting on the lower part of the working body; R_z – the vertical component of the force acting on the lower part of the working body; R – the resultant of all the forces acting on the lower part of the working body; Ψ – the angle between R_x and R , degrees; φ_1 – the angle of soil friction on steel, degrees; β – the crumbling angle, degrees; ω – the angle of setting working body lower part against the horizon, degrees

где μ – угол между линиями перегиба и горизонтом, град., $\mu = 5^\circ$ (рис. 2а);

γ_0 – угол, заключенный между линией перегиба и верхней кромкой рабочего органа, град., $\gamma_0 = 42^\circ$.

Радиус сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа можно выразить как максимальный R_{max} и минимальный R_{min} при построении развертки рабочего органа (рис. 2а). Максимальное и минимальное значение радиусов сопряжений позволит определить пределы диапазона значений параметров проектируемого рабочего органа, при которых будет обеспечиваться выполнение технологической операции обработки почвы с наименьшими энергозатратами.

Радиус сопряжения верхней части рабочего органа R_{max} определяется выражением:

$$R_{max} = \frac{180(l - \Delta l - l_d)}{\pi \cdot \Theta}, R_{max} = 53,95 \text{ мм}, \quad (3)$$

где l_d – действительная длина режущей кромки рабочего органа от нижней линии перегиба до ее окончания, мм ($l_d = 179$ мм, рис. 2б).

Радиус сопряжения нижней части рабочего органа

на R_{min} равен:

$$R_{min} = (k \cdot a + a) \cdot 1,6, R_{min} = 39 \text{ мм}, \quad (4)$$

где k – коэффициент прочности стали (для сталей 30-65Г $= 1,5$);

a – толщина стали, мм ($a = 8$ мм);

1,6 – коэффициент, предупреждающий появление трещин в почвенном пласте.

Тогда из выражения (1) $\gamma_{max} = 42^\circ$; $\gamma_{min} = 38^\circ$. Таким образом, угол γ постановки нижней части рабочего органа к линии движения должен быть в пределах $38^\circ < \gamma < 42^\circ$.

Основное назначение технологического приема обработки почвы, выполняемого орудием с предлагаемыми рабочими органами, состоит в создании обрабатываемого слоя толщиной h .

Для вычисления максимального и минимального углов α и φ постановки верхней части рабочего органа в поперечной и продольно-вертикальной плоскостях к горизонту воспользуемся выражением (рис. 2):

$$\sin(\alpha)\varphi = h/l_b, \quad (5)$$

где h – толщина обрабатываемого слоя, мм

($h_{min} = 55$ мм; $h_{max} = 60$ мм);

l_b – длина верхней части режущей кромки рабочего органа, мм ($l_b = 89$ мм).

Тогда из выражения (5) находим:

$$\alpha_{max} = 42^\circ, \alpha_{min} = 38^\circ \text{ и } \varphi_{max} = 42^\circ, \varphi_{min} = 38^\circ.$$

Таким образом, верхняя часть рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости должна быть установлена под углом к горизонту в пределах $38^\circ < \varphi < 42^\circ$, а угол постановки верхней части рабочего органа к горизонту в поперечно-вертикальной плоскости находится в диапазоне $38^\circ < \alpha < 42^\circ$.

При расчете максимального и минимального значений угла ω постановки нижней части рабочего органа к горизонту воспользуемся выражением:

$$\omega = 90^\circ - \Psi - \varphi_1, \quad (6)$$

где Ψ – угол, заключенный между горизонтальной составляющей R_x (рис. 2д) и результирующей R всех сил, действующих на нижнюю часть рабочего органа, град. ($\Psi_{max} = 33^\circ$, $\Psi_{min} = 30^\circ$);

φ_1 – угол трения почвы о сталь, град. ($\varphi_1 = 31-42^\circ$).

Тогда из выражения (6) определяем:

$$\omega_{max} = 18^\circ, \omega_{min} = 15^\circ.$$

Как видим, нижняя часть рабочего органа должна быть установлена к горизонту под углом $15^\circ < \omega < 18^\circ$.

Найдем соотношение радиуса R сопряжения верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата рабочего органа B :

$$0,2 < R/B < 0,3, \quad (7)$$

где B – ширина захвата рабочего органа, мм:

$$B = l \cdot \sin \alpha; B = 189 \text{ мм},$$

где α – угол постановки рабочего органа к линии движения, град. ($\alpha = 42^\circ$).

Общая длина режущей кромки рабочего органа равна:

$$l = l_H + l_{II} + l_B, \quad (8)$$

где l – общая длина режущей кромки рабочего органа, мм ($l = 282$ мм);

l_H – длина режущей кромки нижней части рабочего органа, мм ($l_H = B/\sin 42^\circ$; $l_H = 134$ мм, причем $B_H = 90$ мм – ширина нижней части режущей кромки рабочего органа, мм);

l_{II} – длина режущей кромки рабочего органа, необходимая для перекрытия, мм ($l_{II} = B/\sin 45^\circ = 59$ мм, причем $B_H = 39,5$ мм – ширина перекрытия полос между рабочими органами, мм);

l_B – длина режущей кромки верхней части рабочего органа, мм ($l_B = h/\sin \alpha = 60/\sin 42^\circ = 134$ мм, где $h = 60$ мм – глубина обработки почвы рабочим органом).

Для проверки полученной длины рабочего органа на возможность сгуживания почвы перед ним, воспользуемся зависимостью [16]:

$$l \leq ctg(\beta + \varphi_1) \left\{ \frac{\sigma_c}{\gamma_{об}} - \frac{2V^2}{g} \sin \frac{\beta}{2} \times \right. \\ \left. \times \left[\cos \frac{\beta}{2} \cdot tg(\beta + \gamma_1) - \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\} \leq 283, \quad (9)$$

где β – угол крошения, град. ($\beta = 15^\circ - 28^\circ$);

φ_1 – угол трения почвы о сталь, град. ($\varphi_1 = 31^\circ - 42^\circ$);

σ_c – временное сопротивление почвы сжатию, Г/см² ($\sigma_c = 650$ Г/см²);

$\gamma_{об}$ – объемный вес почвы, Г/см³ ($\gamma_{об} = 2,4 - 2,7$ Г/см³);

V – скорость движения рабочего органа, м/с

($V = 2,4 - 4,1$ м/с);

g – ускорение свободного падения, м/с² ($g = 9,81$ м/с²).

Так как условие $l \leq 283$ выполняется ($282 \leq 283$), то это указывает на исключение сгуживания почвы перед рабочим органом при выбранных параметрах

и скоростях движения. Отношение максимального ($R_{max} = 53,95$ мм) и минимального ($R_{min} = 39,00$ мм) радиусов сопряжения верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата будет равно:

$$R_{max}/B = 53,95/189 = 0,30;$$

$$R_{min}/B = 39,00/189 = 0,20.$$

Таким образом, отношение радиусов сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата должно быть в пределах $0,2 < R/B < 0,3$.

Выводы. В ходе расчетов были получены следующие основные параметры рабочего органа. Угол постановки нижней части рабочего органа к линии движения должен быть в пределах $38^\circ - 42^\circ$. В этом же диапазоне должны находиться верхняя часть рабочего органа в продольно-вертикальной плоскости под углом к горизонту и угол постановки верхней части рабочего органа к горизонту в поперечно-вертикальной плоскости. Нижнюю часть рабочего органа фиксируют под углом к горизонту $15^\circ - 18^\circ$. Отношение радиусов сопряжений верхней и нижней частей рабочего органа к ширине захвата должно быть в пределах $0,2 - 0,3$. Общая длина режущей кромки рабочего органа равна 282 мм.

Разработанная методика позволяет определять параметры проектируемых рабочих органов для сплошной обработки почвы паровых полей в зависимости от физико-механических свойств почвы и требуемых показателей технологического процесса, а также при проектировании сельскохозяйственных почвообрабатывающих машин различной ширины захвата, под различные тяговые классы тракторов с наименьшими энергозатратами.

Основное преимущество рабочего органа предлагаемой конструкции – обеспечение рыхления почвы на требуемую глубину, в том числе и минимальную (4-6 см), со 100%-ным подрезанием сорной растительности, а также исключение выноса влажных слоев почвы на поверхность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пахомов В.И., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Шевченко Н.В., Ревякин Е.Л. Опыт возделывания озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения. М.: 2015. 160 с.
2. Рыков В.Б., Камбулов С.И., Трубилин Е.И., Шевченко Н.В. Разработка эффективных мобильных технологических агрегатов для условий юга России. Краснодар: 2019. 265 с.
3. Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 48-52.
4. Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Рыков В.Б. Агротехническая и энергетическая оценка почвообрабатывающих и посевных машин с трансформируемой конструкцией // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2013. N5. С. 4-6.
5. Пархоменко Г.Г., Щиров В.Н. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2011. N8. С. 23-24.
6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N3(18). С. 40-47.
7. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Balabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt V., Ferro V., Bagarello V., Oost K.V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*. 2013. N8.
8. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I.

- Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties. *DRC Sustainable Future*. 2020. N1(1). 14-20.
9. Абдулхаев Х.Г., Халилов М.М. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N3. С. 44-47.
 10. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W., Olson C., Sztein A.E., Sparks D.L. Soil and human security in the 21st century. *Soil science*. 2015. 348.
 11. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. N22. 1976-1984.
 12. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447.
 13. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of Good Agricultural and Environmental Conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. *Land Use Policy*. 2016. N50. 408-421.
 14. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bioavailable phosphorus from agricultural soils. *Scientific Reports*. 2016. N6. 24736.
 15. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 2015. N48. 38-50.
 16. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
 17. Okoko P., Ajav E.A., Olosunde W.A. Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. *AgricEngInt: CIGR Journal*. 2018. N20(1). 95-102.
 18. Amer M. Mamkagh. Review of fuel consumption, draft force and ground speed measurements of the agricultural tractor during tillage operations. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2019. N3(4). 1-9.
 19. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Шогенов А.Х. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N3(54). С. 92-95.

REFERENCES

1. Pakhomov V.I., Rykov V.B., Kambulov S.I., Shevchenko N.V., Revyakin E.L. Opyt vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya [Experience in the cultivation of winter wheat in conditions of insufficient moisture]. Moscow: 2015. 160 (In Russian).
2. Rykov V.B., Kambulov S.I., Trubilin E.I., Shevchenko N.V. Razrabotka effektivnykh mobil'nykh tekhnologicheskikh agregatov dlya usloviy yuga Rossii [Development of efficient mobile technological units for the conditions of the south of Russia]. Krasnodar: 2019. 265 (In Russian).
3. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Borzilo V.S. Zona rykhleniya pochvy kultivatornoy lapoy [Zone of soil loosening with cultivator sweeps]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 48-52 (In Russian).
4. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Rykov V.B. Agrotekhnicheskaya i energeticheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchikh i posevnykh mashin s transformiruemoy konstruktsiei [Agrotechnical and energy assessment of soil-cultivating and sowing machines with a transformable design]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyaystva*. 2013. N5. 4-6 (In Russian).
5. Parkhomenko G.G., Shchirov V.N. Opredelenie tyagovogo soprotivleniya pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Determination of traction resistance of tillage machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyaystva*. 2011. N8. 23-24 (In Russian).
6. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Povyshenie energoeffektivnosti mobil'nykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Improving the energy efficiency of mobile tillage units]. *Innovatsii v sel'skom hozyaystve*. 2016. N3(18). 40-47 (In Russian).
7. Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt V., Ferro V., Bagarello V., Oost K.V., Montanarella L., Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*. 2013. N8 (In English).
8. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties. *DRC Sustainable Future*. 2020. N1(1). 14-20 (In English).
9. Abdulhaev H.G., Halilov M.M. Obosnovanie parametrov nozhey vyvaynivatelya-rykhlytelya [[Determining the parameters of leveler-ripper shanks]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 44-47 (In Russian).
10. Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W., Olson C., Sztein A.E., Sparks D.L. Soil and human security in the 21st century. *Soil science*. 2015. 348 (In English).
11. Lugato E., Paustian K., Panagos P., Jones A., Borrelli P. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology*. 2016. N22. 1976-1984 (In English).
12. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewel C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447 (In English).
13. Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E. Effect of Good Agricultural and Environmental Conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. *Land Use Policy*. 2016. N50. 408-421 (In English).
14. Katra I., Gross A., Swet N., Tanner S., Krasnov H., Angert A. Substantial dust loss of bioavailable phosphorus from agricultural soils. *Scientific Reports*. 2016. N6. 24736 (In English).

15. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 2015. N48. 38-50 (In English).
16. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 328 (In Russian).
17. Okoko P., Ajav E.A., Olosunde W.A. Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil. *AgricEngInt: CIGR Journal*. 2018. N20(1). 95-102 (In English).
18. Amer M. Mamkagh. Review of fuel consumption, draft force and ground speed measurements of the agricultural tractor during tillage operations. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2019. N3(4). 1-9 (In English).
19. Ahalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov A.Kh. Trekhseksionnyy pochvoobrabatyvayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section tillage unit with universal replaceable working bodies]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 14. N3(54). 92-95 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Камбулов С.И. – научное руководство, постановка задачи, критический анализ и доработка решения;

Рыков В.Б. – определение методологии исследования, сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения;

Божко И.В. – обработка результатов исследований, анализ и доработка решения;

Подлесный Д.С. – анализ научных источников по теме исследования, анализ и доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kambulov S.I. – scientific guidance, problem statement, critical analysis and improvement of the solution;

Rykov V.B. – specifying the research methodology, collection and analysis of analytical and practical materials on the research topic, formation of general conclusions, critical analysis and finalizing the solution;

Bozhko I.V. – research results processing, analysis and improvement of the solution;

Podlesny D.S. – literature review, analysis and revision of the article 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

08.09.2022

09.11.2022

Агрегат для щелевания деградированных горных лугов и пастбищ на базе мини-трактора

Сергей Майрамович Джибилов,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией механизации
сельскохозяйственного производства;

Людмила Романовна Гулуева,
ведущий конструктор лаборатории
механизации сельскохозяйственного производства,
e-mail: luda_gulueva@mail.ru

Владикавказский научный центр, с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что для предотвращения водной и ветровой эрозии почв, улучшения их водно-воздушного режима на горных лугах и пастбищах применяют щелевание почв. Показали, что оно уменьшает смыв верхнего слоя, улучшает влагообеспеченность растений, влияет на видовой состав травостоя и повышает урожайность кормовых угодий. Описали преимущества малогабаритного агрегата для щадящего щелевания, с формированием водопоглощающих щелей на склонах. (*Цель исследования*) Создать малогабаритный маневренный щелеватель горных лугов и пастбищ, определить его агротехнические параметры, дать графоаналитическое обоснование рабочего процесса щелевания на участках с уклоном до 12 градусов. (*Материалы и методы*) Техническую экспертизу лабораторного образца машины провели на высоте 1540 метров над уровнем моря. Рабочую ширину захвата щелевателя определяли по двум проходам в 25 точках, расположенных с интервалом не менее 1 метра по ходу движения агрегата. (*Результаты и обсуждение*) Щелеватель горной зоны смонтировали на базе мини-трактора *Feng Shou 180*, что уменьшило нагрузку на почву. Разработали оптимальную схему расстановки рабочих органов щелереза при движении по склону. Обосновали схему движения агрегата по склону. Установили технологические параметры: расстояние между щелями – 1000 миллиметров, глубина нарезки щелей – 200-220, ширина щели – 10-30 миллиметров. (*Выводы*) Определили, что после внедрения в почву смещение реакции рабочего органа, расположенного со стороны вершины склона от оси трактора, стабилизирует положение агрегата при движении поперек склона, предотвращая сползание вниз. Выявили, что ножи щелерезов не разрушают дерновый слой, нарезая без подрыва кромок щели, удаленные друг от друга на 1000 миллиметров, шириной не более 35 миллиметров. Весовую нагрузку агрегата на агроценоз при движении уменьшили, применив мини-трактор *Feng Shou 180*.

Ключевые слова: горные луга и пастбища, деградация почв, щелеватель, щелевание на склоне, восстановление почв, мини-трактор.

■ **Для цитирования:** Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Агрегат для щелевания деградированных горных лугов и пастбищ на базе мини-трактора // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 68-73. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-68-73. EDN APMHZZK.

Unit for Splitting Degraded Mountain Meadows and Pastures Based on a Mini Tractor

Sergey M. Dzhibilov¹,
Ph.D.(Eng.), head of laboratory;

Lyudmila R. Guluyeva¹,
leading designer,
e-mail: luda_gulueva@mail.ru

Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Mikhaylovskoe, the Republic of North Ossetia – Alania, Russian Federation

Abstract. Soil splitting is used to prevent water and wind erosion of soils, improve their water-air regime in mountain meadows and pastures. It reduces soil loss, improves plants moisture supply, affects herbage species composition and increases fodder lands yield. The advantages of a small-sized unit have been described ensuring gentle splitting with the formation of water-absorbing splits on the slopes. (*Research purpose*) To create a small-sized maneuverable splitter for mountain meadows and pastures, to determine its agrotechnical parameters, to give a graphic-analytical substantiation of the splitting working process in areas with a slope of up to 12 degrees. (*Materials and methods*) A technical examination of the unit laboratory sample was carried out at an

altitude of 1540 meters above the sea level. The splitter working width was determined by two passes at 25 points located at the intervals of at least 1 meter in the unit movement direction. (*Results and discussion*) A splitter for the mountain area was built on the basis of a Feng Shou 180 mini-tractor, reducing the load on the soil. An optimal arrangement scheme for the splitter working bodies has been developed when moving along a slope. The scheme of the unit movement on the slope was substantiated. The following technological parameters were set: the distance between the splits is 1,000 millimeters, the depth of slip cutting is 200-220 millimeters, the split width is 10-30 millimeters. (*Conclusions*) It was determined having penetrated into the soil, the shift in the reaction of the working body located on the slope top side of the tractor axis stabilizes the position of the unit when moving across the slope, preventing it from sliding down. It was found that being 1,000 mm apart from each other and of the width of not more than 35 mm, the splitter cutting-knives do not destroy the turf layer, do not damage the edges of the slot. The use of a Feng Shou 180 mini-tractor enabled to decrease the unit weight load of on the agrocenosis during movement.

Keywords: mountain meadows and pastures, soil degradation, splitter, splitting on a slope, soil restoration, mini-tractor

■ **For citation:** Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Agregat dlya shchelevaniya degradirovannykh gornykh lugov i pastbishch na baze mini-traktora [Unit for splitting degraded mountain meadows and pastures based on a mini tractor]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 68-73 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-68-73. EDN APMHZK.

На горных лугах и пастбищах под действием различных природных процессов происходит водная и ветровая эрозия почв. Для работ на склонах до 12°, в зависимости от физико-механических свойств, климатических условий и высоты травостоя горной и предгорной зон, необходимы оптимальная технология обработки почвы, специальная техника и рабочие органы.

Для улучшения водно-воздушного режима почвы применяют щелевание почвы [1]. Оно уменьшает смыв верхнего слоя, улучшает влагообеспеченность растений, влияет на видовой состав травостоя и значительно повышает урожайность кормовых угодий. Известные щелеватели при использовании в горной зоне поднимают дернину, рвут ее и не могут обеспечить необходимый уровень работ согласно агротехническим требованиям. Потребовался малогабаритный агрегат для щадящего щелевания, с формированием водопоглощающих щелей на склонах [2-4].

Цель исследования – создать малогабаритный маневренный щелеватель горных лугов и пастбищ, определить его агротехнические параметры, дать графоаналитическое обоснование рабочего процесса щелевания на участках с уклоном до 12°.

Материалы и методы. В Северо-Кавказском научно-исследовательском институте горного и предгорного сельского хозяйства на базе мини-трактора *Feng Shou 180*. создали лабораторный образец агрегата для щелевания деградированных лугов и пастбищ горной зоны Северного Кавказа. Он позволяет повысить продуктивность кормовых угодий, производительность труда и экологическую устойчивость участков на склонах до 12°.

Испытание и определение функциональных показателей работы проведены по ГОСТ 33687-2016 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний» и ГОСТ 33736-2016 «Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний».

Предшествующая испытаниям обработка почвы (последний вид сельскохозяйственных работ на данном участке) согласно технологической карте хозяйства – скашивание травостоя [5].

Высоту растительных и пожнивных остатков измеряли от поверхности почвы до их верхней части на пяти учетных площадках размером 1 м², расположенных по диагонали участка. Засоренность участка камнями определяли по той же схеме [6].

Испытания машин проводили на скоростях движения в соответствии с требованиями ТЗ, ТУ, ГОСТ 33687-2016 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний» и руководством по эксплуатации. Количество передач не менее трех.

Рабочую ширину захвата щелевателя определяли по двум проходам в 25 точках, расположенных с интервалом не менее 1 м по ходу движения агрегата на каждом учетном проходе. Глубину обработки почвы щелерезами измеряли щуп-линейкой по следу рабочего органа с интервалом 1 м по ходу движения машины методом поперечного и продольного профилирования [7]. Допускается применение других средств измерений, обеспечивающих соответствующую погрешность измерения [8].

Налипание почвы и забивание пожнивными и растительными остатками рабочих органов машины определяли визуально при условии нарушения выполнения технологического процесса при эксплуатационно-технологической оценке [9]:

- частичное, когда налипшая почва и забивание пожнивными и растительными остатками занимают до 40% от общей поверхности рабочего органа;
- среднее – 40-60%;
- полное – свыше 60%.

Учитывали забивание и залипание в том случае, если пожнивные и растительные остатки после встряхивания почвы устойчиво удерживаются на поверхности рабочих органов [10].

При движении агрегата поперек склона на него воздействует сила тяжести, которая способствует сползанию его вниз по склону [11]. Поэтому предложили разместить рабочий орган щелевателя со смещением реакции по отношению к оси агрегата – для стабилизации движения поперек склона без отклонения от заданного направления.

Работающий щелерез должен быть расположен на той стороне агрегата, которая ближе к вершине склона (рис. 1).

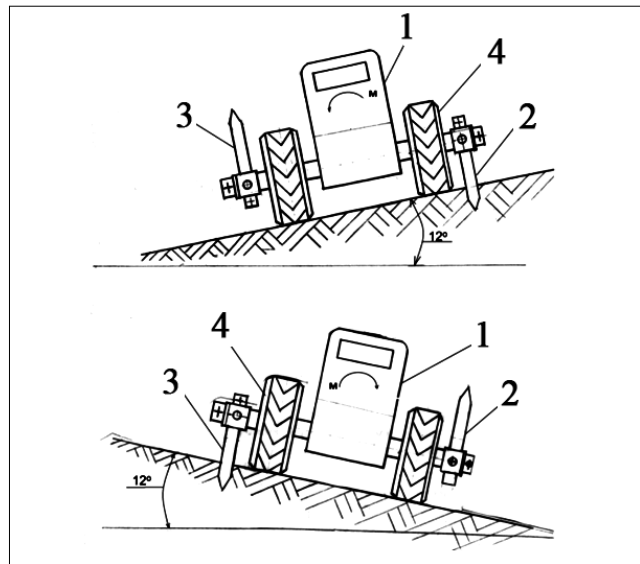


Рис. 1. Схема положения рабочих органов агрегата при его работе на склоновых землях: 1 – трактор Feng Shou 180; 2 – щелерез правый; 3 – щелерез левый; 4 – склон с уклоном до 12°; М – опрокидывающий момент

Fig. 1. Diagram of the position of the unit working bodies during its operation on sloping lands: 1 – Feng Shou 180 tractor; 2 – right-hand splitter; 3 – left-hand splitter; 4 – a hill with a slope of up to 12°; М – overturning moment

Смещение реакции воздействия рабочего органа щелевателя, расположенного со стороны вершины склона от оси трактора, после внедрения в почву способствует стабилизации положения агрегата при движении поперек склона с меньшим сползанием вниз по склону.

В варианте расположения рабочего органа со стороны подошвы склона все происходит наоборот. Реакция рабочего органа щелевателя при внедрении его в почву способствует сползанию агрегата по склону вниз, что неприемлемо при эксплуатации подобных агрегатов. Правильное расположение рабочего органа щелевателя облегчает управление трактором, снижает энергетические затраты и предотвращает возможные несчастные случаи [12].

Движение агрегата по склону лугопастбищного участка предусмотрено от вершины участка к его подошве (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. По проектно-техни-

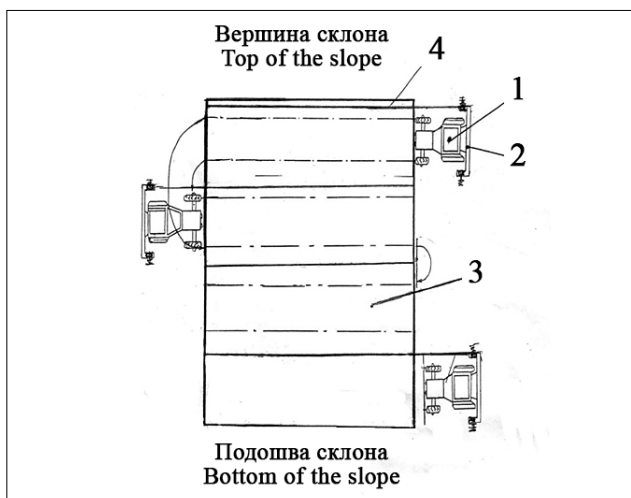


Рис. 2. Схема движения лабораторного образца агрегата на склоне 12° для нарезки щелей на склоновых участках горной и предгорной зон Северного Кавказа: 1 – мини-трактор; 2 – лабораторный образец агрегата для щелевания; 3 – обрабатываемый участок; 4 – нарезаемая щель

Fig. 2. Diagram of the splitter laboratory sample's movement on a 12°-slope in the slope areas of the mountain and foothill zones of the North Caucasus: 1 – Feng Shou 180 mini tractor; 2 – a splitter laboratory sample; 3 – the area to be processed; 4 – a slit to be cut

ческой документации в условиях экспериментальной мастерской СКНИИГПСХ согласно тематическому плану на 2019 г. сконструирован и изготовлен лабораторный образец (рис. 3).



Рис. 3. Лабораторный образец агрегата для щелевания деградированных горных лугов и пастбищ на базе мини-трактора: 1 – рама агрегата; 2 – рабочий орган щелереза в рабочем состоянии; 3 – рабочий орган щелереза в транспортном состоянии; 4 – мини-трактор Feng Shou 180

Fig. 3. Unit laboratory sample for slitting degraded mountain meadows and pastures based on Feng Shou 180 mini tractor: 1 – the unit frame; 2 – the splitter working body when working condition; 3 – the splitter working body when being transported; 4 – Feng Shou 180 minitractor

Рабочие ножи щелереза крепятся к пружинистым стойкам на раме агрегата, что позволяет беспрепятственно обходить встречный камень или скальный выступ [13-14]. Технические и агроэкономические показатели агрегата зависят от правильной установки рабочих органов на ровной площадке.

Поле для нарезки щелей готовят заблаговремен-

но: скашивают или стравливают овцам, удаляют камни размером более 50 мм, кочки и кустарники [15-16]. Далее выбирают направление движения агрегата, намечают места разворота и загоны.

В процессе работы постоянно контролируют качество работы и крепление узлов и деталей [17-18]. Перед выездом в поле необходимо правильно отрегулировать глубину хода рабочих органов и расстояние между щелями [19-20].

Разработана оптимальная схема расстановки рабочих органов щелереза при движении по склону [21-25]. Расстояние между щелями поперек склона 1000 мм, глубина нарезки щелей 200-220 мм, ширина щели 10-30 мм.

Лабораторный образец агрегата для щелевания деградированных горных лугов и пастбищ работает следующим образом. Нарезание щелей начинается с вершины обрабатываемого склонового участка, допустим справа налево (*рис. 2*). При этом задействован рабочий орган, расположенный ближе к вершине склона. При движении в обратном направлении, слева направо, активируется рабочий орган, левый по ходу движения агрегата, так как он ближе к вершине. Высота растительных и пожнивных остатков составила 6,67-7,37 см; средний размер камней – 42,5-48,0 мм; ширина захвата щелевателя при движении «ход пря-

мо» (по ходу движения) – 2,51-3,99 см, «ходе обратно» – 2,34-3,49 см.

Глубина, ширина щелей и расстояние между ними при «ходе прямо» – 21,4 см, 9,8 и 105,8 см соответственно, при «ходе обратно» – 21,55 см, 10,7 и 106,9 см соответственно.

В результате сопротивления рабочего органа щелереза обеспечивается стабилизация всего агрегата, облегчается его управление, снижаются энергозатраты.

Выводы. Создали лабораторный образец агрегата для щелевания горных лугов и пастбищ.

Определили, что после внедрения в почву смещение реакции рабочего органа, расположенного со стороны вершины склона от оси трактора, стабилизирует положение агрегата при движении поперек склона, предотвращая сползание вниз. Выявили, что ножи щелерезов не разрушают дерновый слой, нарезая без подрыва кромок щели, удаленные друг от друга на 1000 миллиметров, шириной не более 35 миллиметров. Глубина, ширина щелей и расстояние между ними при «ходе прямо» составляли 21,4 см, 9,8 и 105,8 см соответственно, при «ходе обратно» – 21,55 см, 10,7 и 106,9 см соответственно.

Весовую нагрузку агрегата на агроценоз при движении уменьшили, применив мини-трактор *Feng Shou 180*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солдатова И.Э., Солдатов Э.Д. Создание высокопродуктивных сенокосов и пастбищ в горной зоне Северного Кавказа // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 54. N3. С. 9-14.
2. Кудзаев А.Б., Коробейник И.А. Совершенствование культиватора-растениепитателя для работы на каменистых почвах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N1. С. 26-29.
3. Савченко И.В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 527-531.
4. Герасименко И.В., Потешкин К.С. Определение конструктивно – режимных параметров модернизированного щелевателя // *Молодой ученый*. 2012. N12(47). С. 39-43.
5. Мамиев Д.М. Перспективы развития биологического земледелия в РСО-Алания // *Научная жизнь*. 2019. Т. 14. N9(97). С. 1396-1402.
6. Кудзаев А.Б., Коробейник И.А., Уртаев Т.А., Цгоев Д.В. Пропашный культиватор для каменистых почв // *Сельский механизатор*. 2020. N4. С. 10-11.
7. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Adaptive energy-saving cultivator equipped with the simultaneous adjuster of sections for working stony soils. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 714-720.
8. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N2. С. 28-32.
9. Gasiev V., Khokhova N., Mamiev D. Biological features of formation of perennial binary grass crops. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17. N5. 1891-1897.
10. Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Механизированный способ удаления и утилизации камней на горных склонах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N2. С. 23-28.
11. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Study of elastic composite rods for creating fuses of tillers. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 658-666.
12. Kudzaev A.B., Tsgoev D.V., Korobeynik I.A., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Kalagova R.V. Some plough section parameters to subdue rough land. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. N10. 1421-1429.
13. Кудзаев А.Б., Цгоев Д.В. Динамика процесса обхода препятствия секцией плуга с пневматическим предохранителем // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 54. N3. С. 136-144.
14. Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Способ восстановления горных кормовых угодий // *Аграрный вестник Урала*. 2018. N7(174). С. 3-6.
15. Угорец В.И., Албегонова Р.Д. Использование горных

- пастбищ – основа получения экологически безопасной животноводческой продукции // *Горное сельское хозяйство*. 2018. N1. С. 105-116.
16. Угорец В.И., Албегонова Р.Д. Улучшение естественных горных пастбищ РСО-Алания – путь к производству экологически чистой животноводческой продукции молока и мяса // *Горное сельское хозяйство*. 2016. N2. С. 152-159.
 17. Угорец В.И., Солдатов Э.Д., Солдатова И.Э., Икоева Л.П. Пути повышения экономической эффективности производства кормов в горной зоне. Улучшение естественных горных пастбищ РСО-Алания // *Горное сельское хозяйство*. 2020. N1. С. 21-24.
 18. Zhang Zh., Yu K., Siddique K., Nan Zh. Phenology and sowing time affect water use in four annual herbs of the warm season under semi-arid conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol. 269. 257-269.
 19. Солдатова И.Э., Солдатов Э.Д. Биологические основы восстановления бросовых земель горных агроландшафтов // *Плодородие*. 2018. N6(105). С. 63-65.
 20. Солдатов Э.Д., Солдатова И.Э. Влияние лугопастбищных фитоценозов на экологическое состояние экосистем горной зоны Центрального Кавказа // *Горное сельское хозяйство*. 2018. N3. С. 65-67.
 21. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Ахала Б.Х. Агротехническое и экологическое обоснование эффективности (целесообразности) использования биоактивных технологических способов обработки залежей и запущенных угодий. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 127-130.
 22. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахала Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197.
 23. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
 24. Миронова А.В. Обработка задернелых и деградированных почв // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N2(35). С. 57-62.
 25. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Ценч Ю.С. Комплекс машин АГРОМАШ для обработки залежных земель // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N2(31). С. 40-47.

REFERENCES

1. Soldatova I.E., Soldatov E.D. Sozдание vysokoproduktivnykh senokosov i pastbishch v gornoy zone Severnogo Kavkaza [Development of high-productive hay meadows and pastures in the mountain zone of the north caucasus]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. Vol. 54. N3. 9-14 (In Russian).
2. Kudzaev A.B., Korobeynik I.A. Sovershenstvovanie kultivatora-rastenepitatatelya dlya raboty na kamenistyykh pochvakh [Improvement of the cultivator-plant-feeder for work on stony soils]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. N1. 26-29 (In Russian).
3. Savchenko I.V. Resursoberegayushchee ekologicheskoe chistoe rasteniyevodstvo dlya polucheniya produktsii vysokogo kachestva [Conservation agriculture in high quality food production]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. Vol. 89. N5. 527-531 (In Russian).
4. Gerasimenko I.V., Poteshkin K.S. Opredelenie konstruktivno-rezhimnykh parametrov modernizirovannogo shchelevatelya [Determination of structural and regime parameters of the modernized splitter]. *Molodoy uchenyy*. 2012. N12(47). 39-43 (In Russian).
5. Mamiev D.M. Perspektivy razvitiya biologicheskogo zemledeliya v RSO-Alaniya [Prospects for the development of biological agriculture in north ossetia-alania]. *Nauchnaya zhizn'*. 2019. Vol. 14. N9(97). 1396-1402 (In Russian).
6. Kudzaev A.B., Korobeynik I.A., Urtaev T.A., Tsgoev D.V. Propashnoy kul'tivator dlya kamenistyykh pochv [Tillage cultivator for rocky soils]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020. N4. 10-11 (In Russian).
7. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Adaptive energy-saving cultivator equipped with the simultaneous adjuster of sections for working stony soils. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 714-720 (In English).
8. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyy energosberegayushchiy kul'tivator dlya obrabotki kamenistyykh pochv [Adaptive energy-saving cultivator for stony soils cultivating]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015. N2. 28-32 (In Russian).
9. Gasiev V., Khokhlova N., Mamiev D. Biological features of formation of perennial binary grass crops. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17. N5. 1891-1897 (In English).
10. Dzhobilov S.M., Gulueva L.R. Mekhanizirovannyi sposob udaleniya i utilizatsii kamney na gornyykh sklonakh [Mechanized method for the removal and disposal of stones on mountain slopes]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 23-28 (In Russian).
11. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Study of elastic composite rods for creating fuses of tilters. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 658-666 (In English).
12. Kudzaev A.B., Tsgoev D.V., Korobeynik I.A., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Kalagova R.V. Some plough section parameters to subdue rough land. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. N10. 1421-1429 (In English).

13. Kudzaev A.B., Tsgoev D.V. Dinamika protsessa obkhoda prepyatstviya sektsiei pluga s pnevmaticheskim predokhranitelem [Dynamics of the process of bypassing obstacles by the plow section with a pneumatic fuse]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. Vol. 54. N3. 136-144 (In Russian).
14. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Sposob vosstanovleniya gornyx kormovykh ugodiy [Method for restoring mountain forage lands]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2018. N7(174). 3-6 (In Russian).
15. Ugorets V.I., Albegonova R.D. Ispolzovanie gornyx pastbishch – osnova polucheniya ekologicheskii bezopasnoy zhivotnovodcheskoy produktsii [Mountain pastures – source of producing environmentally friendly animal husbandry]. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2018. N1. 105-116 (In Russian).
16. Ugorets V.I., Albegonova R.D. Uluchshenie estestvennykh gornyx pastbishch RSO-Alaniya – put' k proizvodstvu ekologicheskii chistoy zhivotnovodcheskoy produktsii moloka i myasa [Improvement of natural mountain pastures of RSO-Alaniya – the way to production environmentally friendly livestock production of milk and meat]. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2016. N2. 152-159 (In Russian).
17. Ugorets V.I., Soldatov E.D., Soldatova I.E., Ikoeva L.P. Puti povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti proizvodstva kormov v gornoy zone. Uluchshenie estestvennykh gornyx pastbishch RSO-Alaniya [Ways to increase economic efficiency forage production in the mountain area of North Ossetia-Alania]. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2020. N1. 21-24 (In Russian).
18. Zhang Zh., Yu K., Siddique K., Nan Zh. Phenology and sowing time affect water use in four annual herbs of the warm season under semi-arid conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol. 269. 257-269 (In English).
19. Soldatova I.E., Soldatov E.D. Biologicheskie osnovy vosstanovleniya brosovykh zemel' gornyx agrolandshaftov [Biological fundamentals of the restoration of waste lands of mountain agrolandscapes]. *Plodorodie*. 2018. N6(105). 63-65 (In Russian).
20. Soldatov E.D., Soldatova I.E. Vliyanie lugopastbishchnykh fitotsenozov na ekologicheskoe sostoyanie ekosistem gornoy zony Tsentral'nogo Kavkaza [Influence of meadows and pastures phytocenoses on ecological state of ecosystems of the mountain zone of the central caucasus]. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2018. N3. 65-67 (In Russian).
21. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A., Akhalaya B.Kh. Agrotekhnicheskoe i ekologicheskoe obosnovanie effektivnosti (tselesoobraznosti) ispol'zovaniya bioaktivnykh tekhnologicheskikh sposobov obrabotki zalezhey i zapushcheknykh ugodiy [Agrotechnical and ecological justification of the effectiveness (expediency) of the use of bioactive technological methods of processing deposits and neglected lands]. V sbornike: Sistema tekhnologii i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii. Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoy mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. 2013. 127-130 (In Russian).
22. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian).
23. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologii i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
24. Mironova A.V. Obrabotka zadernelykh i degradirovannykh pochv [Processing of turfed and degraded soils]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N2(35). 57-62 (In Russian).
25. Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Tsench Yu.S. Kompleks mashin AGROMASH dlya obrabotki zaleznykh zemel' [Agromash machinery complex for processing of fallow land]. *Vestnik VIESH*. 2018. 2(31). 40-47 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Джибилов С.М. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов; Гулуева Л.Р. – обработка результатов исследований, визуализация, литературный анализ, оформление и доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Dzhibilov S.M. – scientific supervision, formulation of the research main directions, development of theoretical premises, development of general conclusions; Gulueva L.R. – research results processing, visualization, literature review, manuscript design and revision of the text.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

05.04.2022

17.05.2022

Сравнение эксплуатационных свойств китайских тракторов Zoomlion и YTO

Григорий Александрович Иовлев¹,
кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Владимир Викторович Побединский^{1,2},
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой, e-mail: pobed@el.ru;
Ирина Игоревна Голдина¹,
старший преподаватель, e-mail: ir.goldina@mail.ru

¹Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация;

²Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. Подтвердили актуальность информации о технических возможностях новых тракторов, поступающих на российский рынок. (*Цель исследования*) Сравнить эксплуатационные свойства китайских сельскохозяйственных тракторов Zoomlion и YTO, подготовить рекомендации для отечественных сельхозтоваропроизводителей. (*Материалы и методы*) Проанализировали материалы исследований по определению и сравнительному анализу эксплуатационных свойств тракторов семейства «Беларус» и зарубежных аналогов, в том числе китайского производства. Применили следующие методы: расчетный, сравнения, прогнозирования, экономико-математического моделирования, экспертных оценок и другие. Использовали математические зависимости по определению тяговых свойств тракторов, производительности машинно-тракторных агрегатов, удельного расхода топлива. (*Результаты и обсуждение*). Изучили эксплуатационные свойства тракторов Zoomlion и YTO, разбив их по группам примерно равной мощности. Сравнили показатели производительности машинно-тракторного агрегата при выполнении технологической операции «культивация», удельного расхода топлива. Определили влияние балластных грузов. Выявили, что в группе Zoomlion RN904 и YTO-X904 у первого производительность выше на 2,4 процента, а удельный расход топлива ниже на 5,1 процента; в группе Zoomlion RN1104 и YTO-X1104 производительность выше у первого на 4,9 процента, но и удельный расход топлива больше на 3,9 процента; в группе Zoomlion RS1304 и YTO-X1304 первый имеет преимущества по обоим показателям – на 8,4 и 10,4 процента соответственно; в группе Zoomlion RS1604 и YTO-ELG1604 это различие еще более выражено – 21,3 и 15,4 процента соответственно. (*Выводы*) Доказали, что у тракторов с мощностью двигателя 66,2-95,6 киловатта производительность тракторов Zoomlion выше, чем YTO, на 5,6 процента, а удельный расход топлива меньше на 4,2 процента. Определили, что в варианте с мощностью двигателя 117,7 киловатта эти показатели лучше у YTO.

Ключевые слова: сельскохозяйственные тракторы китайского производства, эксплуатационные свойства тракторов, балластные грузы, машинно-тракторный агрегат, удельный расход топлива.

■ **Для цитирования:** Иовлев Г.А., Побединский В.В., Голдина И.И. Сравнение эксплуатационных свойств китайских тракторов Zoomlion и YTO // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №4. С. 74-82. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-74-82. EDN TKSZWX.

Comparative Analysis of Zoomlion and YTO Chinese Tractors' Operational Properties

Gregoriy A. Iovlev¹,
Ph.D.(Econ.), associate professor, head of department,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Vladimir V. Pobedinskiy^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), professor, head of department,
e-mail: pobed@el.ru;
Irina I. Goldina¹,
senior lecturer, e-mail: ir.goldina@mail.ru

¹The Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russian Federation;

²Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The relevance of the information on the technical capabilities of new tractors being launched into the Russian market is confirmed. (*Research purpose*) To compare the operational properties of China's Zoomlion and YTO agricultural tractors, and prepare recommendations for domestic agricultural producers. (*Materials and methods*) The previous research was summarized and

analysed, with a special attention on the definition and comparative analysis of the operational properties of Belarus family tractors and foreign tractors, including those made in China. The following methods were used: calculation, comparison, forecasting, economic and mathematical modeling, expert assessments and others. Mathematical dependencies were used to determine the tractor pulling and traction properties, the productivity of machine-tractor units, and specific fuel consumption. (*Results and discussion*) The operational properties of Zoomlion and YTO tractors were grouped into the categories of approximately equal power, and studied. The performance indicators of the machine-tractor unit were compared during the technological operation "cultivation", as well as its specific fuel consumption. The effect of ballast weights was determined. It was found that in the Zoomlion RN904 and YTO-X904 group, the productivity of the former is 2.4 percent higher, and the specific fuel consumption is 5.1 percent lower; in the Zoomlion RN1104 and YTO-X1104 group, the productivity is 4.9 percent higher, and the specific fuel consumption is 3.9 percent higher; in the Zoomlion RS1304 and YTO-X1304 group, the former outperforms by both indicators - by 8.4 and 10.4 percent, respectively; in the Zoomlion RS1604 and YTO-ELG1604 group, this difference is even more pronounced - 21.3 and 15.4 percent, respectively. (*Conclusions*). It has been proved that in the group of tractors with the engine power of 66.2-95.6 kilowatts, Zoomlion tractor's productivity is 5.6 percent higher than that of YTO, and the specific fuel consumption is 4.2 percent lower. It was determined that in the group with the engine power of 117.7 kilowatts, the operational properties are better for YTO.

Keywords: agricultural tractors made in China, operational properties of tractors, ballast weights, machine-tractor unit, specific fuel consumption.

■ **For citation:** Iovlev G.A., Pobedinskiy V.V., Goldina I.I. Sravnenie ekspluatatsionnykh svoystv kitayskikh traktorov Zoomlion i YTO [Comparative analysis of Zoomlion и YTO Chinese tractors' operational properties]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 74-82 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-74-82. EDN TKSZWX.

В 2020-2021 г. в России насчитывалось 22,0-29,3 тыс. сельскохозяйственных тракторов, в том числе 6 тыс. ед. отечественных [1-7]. Для комплектования тракторного парка сельхозтоваропроизводители вынуждены приобретать тракторы зарубежного производства (*табл. 1*).

Беларусь остается наиболее крупным поставщиком [9]. В товарных группах до 37 кВт (тракторы, мини-тракторы, мотоблоки и т.д.) импорт из Китая составляет 79,3%. На наш взгляд, это самый востребованный сегмент.

Цель исследования – сравнить технические характеристики и эксплуатационные свойства сельскохозяйственных тракторов Zoomlion и YTO, произведенных в Китае.

Материалы и методы. В Китае производство сельскохозяйственной техники, в том числе тракторов, представлено многими компаниями, основные из них: Foton Lovol International Heavy Industry (Lovel Heavy Industry Co.), Changzhou Dongfeng Agricultural Machinery Group Co., YTO Group Corporation, Xuzhou KAT Agricultural Equipment Co., Zoomlion Agriculture Machi-

nery Co., Shifeng Group Co., Jiangsu Changfa Agricultural Equipment Co. [10-12].

В 2022 г. на российских аграрных выставках впервые продемонстрированы тракторы китайских производителей Zoomlion Agriculture Machinery и YTO Group Corporation. По своим технико-экономическим показателям они близки к тракторам белорусского производства. Анализ эксплуатационных свойств поможет российским аграриям определиться с выбором.

Результаты и обсуждение. На тяговые и эксплуатационные свойства трактора прежде всего влияют:

- эксплуатационная масса;
- мощность двигателя;
- распределение нагрузки на оси;
- диапазон и значения рабочих передач коробки перемены передач.

Сравнительный анализ провели по 4 группам различной мощности (*табл. 2*):

- 1 – Zoomlion RN904 и YTO-X904;
- 2 – Zoomlion RN1104 и YTO-X1104;
- 3 – Zoomlion RS1304 и YTO-X1304;
- 4 – Zoomlion RS1604 и YTO-ELG1604.

Таблица 1

Table 1

ИМПОРТ ТРАКТОРОВ С МОЩНОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ СВЫШЕ 37 кВт (50 л.с.) в 2021 г. [8]
IMPORT OF TRACTORS WITH THE ENGINE POWER OVER 37 kW (50 HP) IN 2021 [8].

Страны-экспортеры / Exporting countries	Объем поставок / Scope of supply	
	%	ед.
Беларусь / Belarus	82,5	19 800
Китай / China	10,4	2496
Страны ЕС (Франция, Германия, Голландия) EU countries (France, Germany, Holland)	6,5	1560
Япония / Japan	0,6	144

Таблица 2

Table 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРОВ ZOOMLION И YTO
SPECIFICATIONS OF ZOOMLION AND YTO TRACTORS

Группы Groups	Марка трактора Tractor brand	Энергонасыщенность, кВт/кН power/weight ratio kW/kN	Эксплуатационная масса, кг Operating weight, kg	Распределение на переднюю ось, кг Distribution on the front axle, kg	Распределение на заднюю ось, кг Distribution on the rear axle, kg	Передние балластные грузы, кг Front ballast weights, kg	Задние балластные грузы, кг Rear ballast weights, kg	Диапазон передач, км/ч Gear range, km/h
1	Zoomlion RN904	1,55	4350	1630	2720	11×20 ⁴	8×40	1,58-33,69
	YTO-X904	1,53	4400	1790	2610	6×40 ¹ + 130 ⁵	4×50 ¹	2,21-37,55
2	Zoomlion RN1104	1,77	4655	1750	2905	11×20 ⁴	8×40	1,58-33,69
	YTO-X1104	1,71	4820	1930	2890	10×40 + 130 ⁵	6×50	2,24-29,30
3	Zoomlion RS1304	1,89	5160	1935	3225	13×40	8×60	1,65-33,39
	YTO-X1304	1,98	4910	1915	2995	12×50 + 160 ⁵	8×50	2,34-30,55
4	Zoomlion RS1604	2,06	5810	2180	3630	13×40	8×60	1,49-30,07
	YTO-ELG1604	1,87	6420 ²	3060	3360	12×45 + 160 ⁵	4×75	2,25-29,06 ³

¹Как опция могут поставляться передние – 10×40, задние – 6×50 / As an option, front – 10x40, rear – 6x50 can be supplied.

²На спаренных задних колесах 7110 кг / On twin rear wheels 7110 kg.

³При коробке перемены передач на 18 передач, диапазон передач 2,81-38,39 / With 18 gear shifter, gear range is 2.81-38.39.

⁴Как опция могут поставляться 22×20 / As an option, 22×20 can be supplied.

⁵Масса держателя передних балластных грузов / Weight of front weight holder.

Тракторы имеют примерно одинаковые технико-экономические показатели, кроме 4 группы: по сравнению с *Zoomlion RS1604* эксплуатационная масса *YTO-ELG1604* на 610 кг больше, а возможность установки задних сдвоенных колес позволяет увеличить эксплуатационную массу еще на 690 кг.

Тракторы с представленными техническими характеристиками относятся к тягово-энергетической концепции, мощность двигателей соответствует предъявляемым требованиям [13-16]. Практически у всех тракторов для повышения эксплуатационных свойств можно использовать балластные грузы.

В сравнении учитывали производительность машинно-тракторного агрегата (МТА) и удельный расход топлива, а также влияние заводского комплекта балластных грузов. Для этого предложили варианты балластирования тракторов.

Для трактора *Zoomlion RN904* рассмотрели несколько вариантов догрузки балластными грузами [17, 18]. Номинальное тяговое усилие при различных вариантах догрузки составило 16,7-18,8 кН.

Приведем расчеты для трактора *YTO-X904* (табл. 2).

Варианты балластирования:

- 1 – без грузов;
- 2 – 2 противовеса на задние колеса по 50 кг (по одному на колесо);
- 3 – держатель 130 кг + 2 противовеса на задние коле-

са по 50 кг;

4 – держатель 130 кг + 4 противовеса на задние колеса по 50 кг;

5 – держатель 130 кг, 2 передних груза по 40 кг + 4 противовеса на задние колеса по 50 кг;

6 – держатель 130 кг, 4 передних груза по 40 кг + 4 противовеса на задние колеса по 50 кг;

7 – держатель 130 кг, 6 передних грузов по 40 кг + 4 противовеса на задние колеса по 50 кг.

Тяговое усилие определим по формуле:

$$P_{\text{кр.н}} = A m_{\text{э}},$$

где $P_{\text{кр.н}}$ – номинальное тяговое усилие, кН;

A – безразмерный коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора. Для тракторов с четырьмя ведущими мостами и эксплуатационной массой свыше 2600 кг $A = 3,92 \cdot 10^{-3}$;

$m_{\text{э}}$ – эксплуатационная масса, кг.

Используя диапазон рабочих передач, рассчитаем тяговое усилие с учетом вариантов балластирования (табл. 3).

Определим влияние балластирования на производительность машинно-тракторного агрегата (МТА) и расход топлива при культивации.

Исходные данные:

- удельное сопротивление – 1,7 кН/м;
- коэффициент сопротивления перекачиванию – 0,15;

Таблица 3

Table 3

НОМИНАЛЬНОЕ ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ ТРАКТОРА УТО-Х904 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ДОГРУЗКИ RATED PULLING FORCES OF THE УТО-Х904 TRACTOR FOR VARIOUS LOADING OPTIONS							
Варианты option number	Передняя ось / Front axle, kg		Задняя ось / Rear axle, kg		Эксплуатацион- ная масса, кг Operating eight, kg	Энерго- насыщенность, кВт/кН power/weight ratio, kW/kN	Номинальное тяговое усилие, кН Rated pulling force, kN
	кг/kg	%	кг/kg	%			
1	1790	40,7	2610	59,3	4400	1,53	17,2
2	1790	39,8	2710	60,2	4500	1,50	17,6
3	1920	41,5	2710	58,5	4630	1,46	18,1
4	1920	40,6	2810	59,4	4730	1,43	18,5
5	2000	41,6	2810	58,4	4810	1,40	18,8
6	2080	42,5	2810	57,5	4890	1,38	19,2
7	2160	43,5	2810	56,5	4970	1,36	19,5

Таблица 4

Table 4

ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ ТРАКТОРА УТО-Х904 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЕРЕДАЧАХ И ВАРИАНТАХ ДОГРУЗКИ, кН TRACTION FORCES OF THE УТО-Х904 TRACTOR IN DIFFERENT GEARS WITH DIFFERENT LOADING OPTIONS									
Рабочие передачи Working gears	Рабочая скорость, км/ч Operating speed, km/h	Варианты догрузки / Loading options							
		1	2	3	4	5	6	7	
I3	4,24	17,2	17,6	18,1	18,5	18,8	19,2	19,5	
I4	6,83	14,8	15,1	15,5	15,9	16,2	16,5	16,8	
II1	5,26	16,2	16,6	17,1	17,5	17,8	18,1	18,4	
II2	8,16	13,6	13,9	14,2	14,6	14,8	15,1	15,3	
II3	10,08	11,8	12,1	12,4	12,7	12,8	13,2	13,3	
II4	16,22	6,08	6,28	6,33	6,58	6,58	6,83	6,83	
III1	12,18	9,83	10,1	10,3	10,6	10,7	11,0	11,1	

- запас тягового усилия 7,5%.

При расчетах необходимо выбирать возможно более высокие показатели скорости, в соответствии с агротехническими требованиями.

Найдем тяговое сопротивление агрегата, кН:

$$R_a = R_m + R_f,$$

где R_m – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН;

R_f – сопротивление перекачиванию сельскохозяйственной машины, кН.

Часовую производительность определим по формуле, га:

$$W_{\text{ч}} = e B_p V_p = e \zeta_B \zeta_V \tau B_a V_T, \quad (1)$$

где e – коэффициент, учитывающий единицы измерения скорости движения агрегата, $e = 0,1$;

B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$$B_p = \zeta_B B_a,$$

где ζ_B – коэффициент использования ширины захвата, учитывает отличие рабочей ширины захвата от конструктивной B_a : $\zeta_B = B_p/B_a$, при поверхностной обработке $\zeta_B = 0,95-0,96$;

V_p – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;

$$V_p = \zeta_V V_T,$$

где ζ_V – коэффициент использования скорости:

$\zeta_V = V_p/V_T$, V_T – скорость трактора, км/ч, причем $\zeta_V = 0,77$ для тракторов кл. 1,4-2 тс;

$\zeta_V = 0,81$ для тракторов кл. 3 тс;

τ – коэффициент использования времени смены:

$$\tau = T_p/T_{\text{см}},$$

где T_p – время выполнения технологической операции, ч;

$T_{\text{см}}$ – продолжительность времени смены, ч.

При хорошей организации труда и нормальных условиях эксплуатации $\tau = 0,7-0,8$.

Расход топлива равен, кг:

$$g_{\text{ГА}} = \frac{G_{\text{Т.Р}} + G_{\text{Т.П}} + G_{\text{Т.ПЕР}} + G_{\text{Т.ХД}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

где $G_{\text{Т.Р}}$, $G_{\text{Т.П}}$, $G_{\text{Т.ПЕР}}$, $G_{\text{Т.ХД}}$ – средний часовой расход топлива в течение смены при выполнении основной (чистой) работы, холостых ходов на поворотах, переездах и во время холостой работы двигателя (во время остановок агрегата с работающим двигателем), кг/ч. Средний часовой расход топлива определяют по справочным данным или расчетным путем – через удельный расход топлива на 1 эффективную лошадиную силу и степень загрузки двигателя.

Приведем примеры расчета тягового сопротивления для культиваторов:

- КПС-4: $R_a = 4 \cdot 1,7 + 0,15 \cdot 7,96 = 7,99$ кН.

- КПС-5: $R_a = 5 \cdot 1,7 + 0,15 \cdot 12,6 = 10,39$ кН.

- КПС-6: $R_a = 6 \cdot 1,7 + 0,15 \cdot 13,6 = 12,24$ кН.

Производительность МТА и расход топлива при культивации вычисляются в соответствии с предложенными вариантами балластирования, определяющими тяговые усилия трактора. Варианты балластирования разработаны на основе заводского комплекта балластных грузов и возможности установки двонных колес.

Для примера приведем расчет производительности МТА для первого варианта балластирования трактора УТО-Х904, без грузов (табл. 4):

- культиватор КПС-4. Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию 9,83 кН с запасом на передаче III1 (12,18 км/ч):

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 12,18 \cdot 0,75 = 2,69 \text{ га/ч};$$

- культиватор КПС-5. Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию 11,8 кН с запасом на передаче ПЗ (10,08 км/ч):

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 10,08 \cdot 0,75 = 2,78 \text{ га/ч};$$

- культиватор КПС-6. Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию 13,6 кН с запасом на передаче П2 (8,16 км/ч):

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 6 \cdot 0,77 \cdot 8,16 \cdot 0,75 = 2,70 \text{ га/ч}.$$

Как видим, лучший показатель по производительности выявлен в варианте с культиватором КПС-5. При этом расход топлива равен:

$$g_{\text{га}} = \frac{9,23 \cdot 0,75 + 5,02 \cdot 0,25}{2,78} = \frac{6,92 + 1,25}{2,78} = 2,94 \text{ кг/га}.$$

Балластирование влияет на производительность машинно-тракторного агрегата и расход топлива для УТО-Х904 и Zoomlion RN904 (табл. 5) [17-19].

Используя индексный метод, определили опти-

мальное распределение догрузки балластными грузами: для Zoomlion RN904 – 7-й вариант (2,29 балла), для УТО-Х904 – 6-й вариант (2,27 балла).

Для определения трактора с наиболее высокими эксплуатационными свойствами также применим индексный метод. Взяв за базисный вариант эксплуатационные свойства трактора Zoomlion RN904, мы имеем: Zoomlion RN904 – 2 балла, УТО-Х904 – $0,98 + 0,95 = 1,93$ балла.

Аналогичные расчеты с различными вариантами догрузки провели и в других сравниваемых парах.

При оптимальной догрузке трактора Zoomlion RN1104 в агрегате с КПС-6 производительность достигает 3,87 га/ч, а расход топлива наименьший – 2,95 кг/га. Лучшие показатели для УТО-Х1104 – с культиватором КПС-5: 3,69 га/ч и 2,84 кг/га. Более высокие эксплуатационные свойства выявлены у трактора Zoomlion RN1104.

В следующей по мощности паре номинальное тяговое усилие трактора Zoomlion RS1304 при различных вариантах догрузки составило 19,8-23,7 кН, УТО-Х1304 – 19,2-23,8 кН, то есть показатели практически одинаковые [18].

При увеличении рабочей скорости с 4,23 до 14,0 км/ч тяговое усилие трактора УТО-Х1304 уменьшалось в диапазоне от 23,8 до 11,0 кН в зависимости от вариантов догрузки.

Изучив варианты балластирования при агрегатировании трактора с культиватором КПС-6, определили наиболее оптимальные [18]:

для Zoomlion RS1304 – производительность 5,02 га/ч при удельном расходе топлива 2,77 кг/га;

для УТО-Х1304 – 4,63 га/ч и 3,09 кг/га соответственно.

Исследования эксплуатационных свойств следующей пары – Zoomlion RS1604 и УТО-ELG1604 – представляют интерес в силу серьезных различий технико-экономических показателей:

- эксплуатационная масса УТО-ELG1604 больше, чем

Таблица 5

Table 5

ВЛИЯНИЕ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МТА И РАСХОД ТОПЛИВА
INFLUENCE OF BALLASTING ON THE MACHINE-TRACTOR AGGREGATE (MTA) PERFORMANCE AND FUEL CONSUMPTION

№ варианта option number	Zoomlion RN904			УТО-Х904		
	марка культиватора brand	производитель- ность, га/ч productivity, ha/h	удельный расход топлива, кг/га specific fuel consumption, kg/ha	марка культиватора brand	производитель- ность, га/ч productivity, ha/h	удельный расход топлива, кг/га specific fuel consumption, kg/ha
1	КПС-4	2,94	2,77	КПС-5	2,78	2,94
2	КПС-4	2,94	2,81	КПС-5	2,78	3,02
3	КПС-6	2,98	2,80	КПС-5	2,78	3,09
4	КПС-6	2,98	2,82	КПС-5	2,78	3,16
5	КПС-6	2,98	2,92	КПС-5	2,78	3,22
6	КПС-6	2,98	2,95	КПС-6	3,33	2,74
7	КПС-6	3,41	2,60	КПС-6	3,33	2,77

- у Zoomlion RS1604, на 610 кг;
- у трактора YTO-ELG1604 имеется возможность установки задних сдвоенных колес;
- YTO-ELG1604 комплектуется двумя вариантами коробки перемены передач – 18 и 12 передач.

Поэтому исследования проведены не только по сравнению эксплуатационных свойств тракторов Zoomlion RS1604 и YTO-ELG1604, но и YTO-ELG1604 с различными вариантами КПП [20].

Номинальное тяговое усилие при различных вариантах догрузки трактора Zoomlion RS1604 составило 22,3-26,2 кН [18]. Для YTO-ELG1604 этот показатель находился в диапазоне 25,2-31,8 кН.

Провели расчет тягового усилия YTO-ELG1604 в зависимости от возможностей коробки передач, рабочей скорости вариантов балластирования, установки сдвоенных колес.

Изучили влияние балластирования на производительность МТА и расход топлива [18, 21-23].

Установили оптимальные варианты догрузки балластными грузами: для Zoomlion RS 1604 – 8-й, для YTO-ELG1604 с 18-скоростной КПП – 9-й, для YTO-ELG1604 с 12-скоростной КПП – 9-й и 10-й варианты равнозначны (табл. 6).

Распределение нагрузки на переднюю и заднюю

оси составило: Zoomlion – 37,5 и 62,5%; YTO – 40 и 60% (за исключением трактора YTO-ELG1604, у которого соотношение между осями практически одинаково – 48 и 52%).

Эксплуатационные свойства YTO-ELG1604 лучше, чем Zoomlion RS 1604, при обоих вариантах трансмиссии: производительность выше, соответственно, на 19,7 и 23,2%, удельный расход топлива ниже на 14,3 и 16,1% (рисунок).

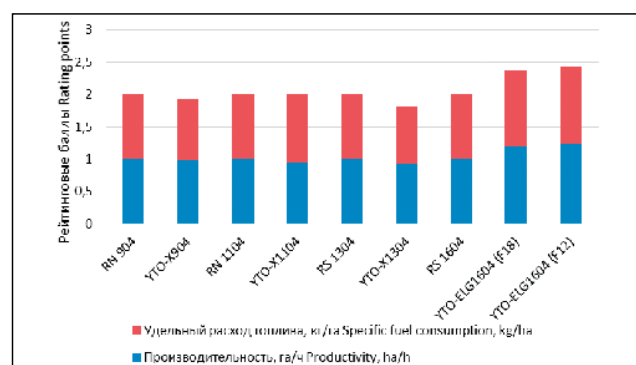


Рис. Рейтинги эксплуатационных свойств тракторов

Fig. 1. Tractor operational properties rating

Выводы. Технические характеристики представленных тракторов китайского производства близки

Таблица 6

Table 6

ВЛИЯНИЕ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА И РАСХОД ТОПЛИВА
INFLUENCE OF BALLASTING ON THE MACHINE-TRACTOR AGGREGATE PERFORMANCE AND FUEL CONSUMPTION

Варианты Options	Zoomlion RS1604 + КПС-6		YTO-ELG1604 (F18)			YTO-ELG1604 (F12)		
	Производительность, га/ч Productivity, ha/h	Удельный расход топлива, кг/га Specific fuel consumption, kg/ha	Культиватор Ripper	Производительность, га/ч Productivity, ha/h	Удельный расход топлива, кг/га Specific fuel consumption, kg/ha	Культиватор Ripper	Производительность, га/ч Productivity, ha/h	Удельный расход топлива, кг/га Specific fuel consumption, kg/ha
1	4,52	3,21	КПК-7	4,73	3,07	КПС-6	5,06	2,87
2	4,52	3,27	КПС-6	5,01	2,97	КПС-6	5,32	2,80
3	4,52	3,33	КПК-7,2	5,12	2,98	КПК-7,2	5,55	2,75
4	4,77	3,19	КПК-7,2	5,12	3,04	КПК-7,2	5,55	2,81
5	4,77	3,32	КПК-7,2	5,12	3,07	КПК-7,2	5,55	2,83
6	4,77	3,37	КПК-7,2	5,12	3,11	КПК-7,2	5,55	2,87
7	4,77	3,39	КПК-7,2	5,12	3,16	КПК-7,2	5,55	2,91
8	5,02	3,35	КПК-7	5,66	2,90	КПК-7,2	5,55	2,96
9	5,02	3,39	КПК-7,2	6,01	2,87	КПК-8	6,17	2,80
10	–	–	КПК-7,2	6,01	2,91	КПК-7	6,20	2,82
11	–	–	КПК-7,2	6,01	2,95	КПК-7	6,20	2,86
12	–	–	КПК-7,2	6,01	2,99	КПК-7	6,20	2,90
13	–	–	КПК-7,2	6,01	3,05	КПК-7	6,20	2,95

по эксплуатационной массе, мощности двигателя. Энергонасыщенность составила: в первой группе – 1,53-1,55 кВт/кН, во второй – 1,71-1,77 кВт/кН, в третьей – 1,89-1,98 кВт/кН, в четвертой – 1,87-2,06 кВт/кН.

Распределение нагрузки на переднюю и заднюю оси равно: Zoomlion – 37,5 и 62,5%; YTO – 40 и 60% (за исключением трактора YTO-ELG1604, у которого соотношение между осями практически одинаково – 48 и 52%).

Количество балластных грузов у тракторов фирмы YTO больше, чем у Zoomlion. Тракторы обеих фирм отличаются количеством и значением рабочих передач, что существенно влияет на эксплуатационные свойства.

Более плавное переключение скоростей на Zoomlion (16 передач против 12 на YTO) позволяет повысить эксплуатационные свойства этих тракторов. Для обеих моделей желателен более мощный двигатель, что повысит энергонасыщенность тракторов.

На основании представленных расчетов и выводов рекомендуем для крестьянских фермерских хозяйств, сельскохозяйственных организаций с небольшими объемами производства тракторы фирмы Zoomlion; для более крупных агропредприятий предпочтительны тракторы марки YTO.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старостин И.А., Загоруйко М.Г. Материально-техническая база сельского хозяйства: обеспеченность тракторами и состояние тракторостроения // *Аграрный научный журнал*. 2020. N10. С. 126-130.
2. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П., Кручинкина И.С., Дмитриева О.Ю. Тестирование новых образцов отечественной сельхозтехники для АПК // *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2022. N1(20). С. 78-84.
3. Кормаков Л.Ф. Нормативно-правовая база регулирования рынка сельхозтехники: адаптация к современным условиям (взгляд экономиста) // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2017. N9. С. 65-69.
4. Парфенов А.П. Сельскохозяйственные тракторы на рынке России (По материалам международной выставки «АГРОСАЛОН 2018») // *Известия МГТУ МАМИ*. 2019. N1(39). С. 36-45.
5. Мазилев Е.А., Демидова О.С. Тенденции рынка сельхозтехники в России // *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2019. N11-2(57). С. 72-76.
6. Создание инструментов для приобретения аграриями новой сельхозтехники – одна из ключевых задач минсельхоза России // *Аграрная наука*. 2022. N7-8. С. 27.
7. Davydova S.A., Starostin I.A. Compliance of Modern Agricultural Tractors Presented on Russian Market With Global Emission Standards. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. N659. 012119.
8. Климов Д.В. Экспорт-импорт тракторов и машин сельскохозяйственного назначения: современное состояние и перспективы // *Экономика и предпринимательство*. 2022. N2(139). С. 1180-1189.
9. Ковалев И.Л. Белорусский экспорт сельхозтехники: состояние, тенденции, проблемы // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2019. N6. С. 66-76.
10. Солий К. Основные китайские производители сельхозтехники: наш обзор, часть 1 // *Рынок АПК*. 2020. N9(203). С. 50-54.
11. Митина Н.Н., Сун Я. Особенности развития экономики Китая // *Инновации и инвестиции*. 2022. N6. С. 39-45.
12. Mazilov E.A., Sheng F. Scientific and Technological Potential of the Territories of Russia and China: Assessment and Development Prospects. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018. Vol. 11. N1. 70-83.
13. Кутков Г.М. Развитие технической концепции трактора // *Тракторы и сельхозмашины*. 2019. N1. С. 27-35.
14. Arzhenovsky A. Methods for Determining Energy and Fuel and Economic Indicators of Machine-tractor Units Agricultural Machines and Technologies. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 6. 36.
15. Lebedev A.T., Seregin A.A., Arzhenovsky A.G. Improving the Efficiency of the Functioning of Agricultural Machinery and Equipment by Managing the Reliability of Their Systems Don Agrarian. *Science Bulletin*. 2019. N2(46). С. 4.
16. Журавлев С.Ю. Улучшение эксплуатационных свойств колесных 4К4 сельскохозяйственных тракторов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N4(84). С. 127-132.
17. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств тракторов белорусско-российского и китайского производства // *Системы. Методы. Технологии*. 2022. N3(55). С. 16-24.
18. Иовлев Г.А. Китайский трактор на российском рынке: эксплуатационные свойства // *Нивы России*. 2022. N4 (203). С. 40-48.
19. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Эксплуатационные свойства тракторов белорусского и китайского производства на примере: БЕЛАРУС 923.3 и ZOOMLION RN904 // *Научно-технический вестник: Технические системы в АПК*. 2022. N1(13). С. 25-35.
20. Ревенко В.Ю., Русанов А.В., Крюковская Н.С. Эксплуатационные исследования изменения тягово-энергетических показателей тракторов при использовании двоярных шин // *Агротехника и энергообеспечение*. 2019. N4(25). С. 53-60.
21. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) //



- Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 220-229.
22. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.

23. 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.

REFERENCES

- Starostin I.A., Zagoruyko M.G. Material'no-tekhnicheskaya baza sel'skogo khozyaystva: obespechennost' traktorami i sostoyanie traktorstroeniya [Material and technical base of agriculture: availability of tractors and the state of tractor construction]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2020. N10. 126-130 (In Russian).
- Dmitriev S.Yu., Dmitriev Yu.P., Kruchinkina I.S., Dmitrieva O.Yu. Testirovanie novykh obraztsov otechestvennoy sel'khoztekhniki dlya APK [Testing of new samples of domestic agricultural machinery for agro-industrial complex]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. N1(20). 78-84 (In Russian).
- Kormakov L.F. Normativnopravovaya baza regulirovaniya rynka sel'khoztekhniki: adaptatsiya k sovremennym usloviyam (vzglyad ekonomista) [Standard-legal base for agricultural machinery market regulation: adapting to modern conditions (an economist's opinion)]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2017. N9. 65-69 (In Russian).
- Parfenov A.P. Sel'skokhozyaystvennye traktory na rynke Rossii (Po materialam mezhdunarodnoy vystavki «AGRO-SALON 2018») [Agricultural tractors on Russian market (based on the international exhibition «AGROSALON 2018»)]. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2019. N1(39). 36-45 (In Russian).
- Mazilov E.A., Demidova O.S. Tendentsii rynka sel'khoztekhniki v Rossii [Russian agricultural market's trends]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. 2019. N11-2(57). 72-76 (In Russian).
- Sozdanie instrumentov dlya priobreteniya agrariyami novoy sel'khoztekhniki – odna iz klyuchevykh zadach minsel'khoza Rossii [Creating tools for the purchase of new agricultural equipment by farmers is one of the key tasks of the ministry of agriculture of Russia]. *Agrarnaya nauka*. 2022. N7-8. 27 (In Russian).
- Davydova S.A., Starostin I.A. Compliance of Modern Agricultural Tractors Presented on Russian Market With Global Emission Standards. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. N659. 012119 (In English).
- Klimov D.V. Eksport-import traktorov i mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Export-import of tractors and agricultural machines: current state and prospects]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2022. N2(139). 1180-1189 (In Russian).
- Kovalev I.L. Belorusskiy eksport sel'khoztekhniki: sostoyanie, tendentsii, problemy [Belarusian export of agricultural machinery: condition, trends, problems]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2019. N6. 66-76 (In Russian).
- Soliy K. Osnovnye kitayskie proizvoditeli sel'khoztekhniki: nash obzor, chast' 1 [The main Chinese manufacturers of agricultural equipment: our review, part 1]. *Rynok APK*. 2020. N9(203). 50-54.
- Mitina N.N., Sun Ya. Osobennosti razvitiya ekonomiki Kitaya [Features of China's economic development]. *Innovatsii i investitsii*. 2022. N6. 39-45 (In Russian).
- Mazilov E.A., Sheng F. Scientific and Technological Potential of the Territories of Russia and China: Assessment and Development Prospects. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018. Vol. 11. N1. 70-83 (In English).
- Kut'kov G.M. Razvitie tekhnicheskoy kontseptsii traktora [The development of the technical concept of the tractor]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019. N1. 27-35 (In Russian).
- Arzhenovsky A. Methods for Determining Energy and Fuel and Economic Indicators of Machine-tractor Units Agricultural Machines and Technologies. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 6. 36 (In English).
- Lebedev A.T., Seregin A.A., Arzhenovsky A.G. Improving the Efficiency of the Functioning of Agricultural Machinery and Equipment by Managing the Reliability of Their Systems Don Agrarian. *Science Bulletin*. 2019. N2(46). 4 (In English).
- Zhuravlev S.Yu. Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv kolesnykh 4K4 sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Improvement of operational properties of wheeled 4k4 agricultural tractors]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. N4(84). 127-132 (In Russian).
- Iovlev G.A., Goldina I.I. Sravnitel'nyy analiz ekspluatatsionnykh svoystv traktorov belorussko-rossiyskogo i kitayskogo proizvodstva [Comparative analysis of the operational properties of Belarusian-Russian and Chinese tractors]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2022. N3(55). 16-24 (In Russian).
- Iovlev G.A. Kitayskiy traktor na rossiyskom rynke: ekspluatatsionnye svoystva [Chinese tractor in the Russian market: operational properties]. *Nivy Rossii*. 2022. N4 (203). 40-48 (In Russian).
- Iovlev G.A., Goldina I.I. Ekspluatatsionnye svoystva traktorov belarusskogo i kitayskogo proizvodstva na primere: BELARUS 923.3 I ZOOMLION RN904 [Operational parameters of Belarusian and Chinese tractors by example: Belarus 923.3 and Zoomlion RN904]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik: Tekhnicheskii sistemy v APK*. 2022. N1(13). 25-35 (In Russian).
- Revenko V.Yu., Rusanov A.V., Kryukovskaya N.S. Ekspluatatsionnye issledovaniya izmeneniya tyagovo-energeticheskikh pokazateley traktorov pri ispol'zovanii sdvoennykh shin [Operational studies of changes in traction and energy indicators of tractors using dual tires]. *Agrotekhnika i energobespechenie*. 2019. N4(25). 53-60 (In Russian).

21. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).
22. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologii i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
23. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy YaA.P., Tsench Yu.S., et al. O sinteze robotizirovannogo sel'skokhozyaystvennogo mabil'nogo agregata [About the synthesis of a robotic agricultural mobile unit]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2019. N4. 63-68 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Иовлев Г.А. – научное руководство, формулирование основных целей и задач экспериментальных исследований, доработка текста, итоговая переработка статьи, формирование общих выводов;
 Побединский В.В. – обработка полученных результатов экспериментальных исследований, построение графиков;
 Голдина И.И. – подготовка начального варианта статьи, доработка текста, литературный анализ, редактирование и оформление материалов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Iovlev G.A. – scientific guidance, formulation of the main goals and objectives of the experimental research, revision of the manuscript, proofreading of the manuscript, formation of general conclusions;
 Pobedinsky V.V. – processing the experimental study results obtained, plotting;
 Goldina I.I. – preparing the initial version of the manuscript, manuscript revision, literature review, editing and designing the materials.

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

21.09.2022
 30.11.2022

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.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS*. Электронные версии журнала размещаются на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки.

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 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