

ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 17 N3 2023

Vol. 17 N3 2023

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL



3 2023



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 № ФС77-84201
от 22 ноября 2022 г.

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

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

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

Перевод – Светлана Сорокина

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2023

Выходит 4 раза в год
(Свободная цена)
Дата выхода в свет 21.09.2023
Формат 60х90/8. Объем 11,5 печ.л.
Тираж 500 экз
Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Яков Петрович Лобачевский (НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР)

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

Алексей Семенович Дорохов

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

Михаил Никитичевич Ерохин

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

Юрий Анатольевич Иванов

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

Йошисукэ Кишида

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

Юрий Федорович Лачуга

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

Антонин Махалек

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

Владимир Дмитриевич Попов

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

Синьминь Лю

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

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

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

Даврон Рустамович Норчаев

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

Юлия Сергеевна Ценч

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

Вячеслав Иванович Черноиванов

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

Роман Алексеевич Фандо

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



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. ФС77-84201 from November, 22, 2022

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

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

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

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

EXECUTIVE EDITORS:

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

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

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

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

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

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

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

EDITORIAL BOARD

Yakov P. Lobachevskiy (SCIENTIFIC EDITOR)

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

Aleksey S. Dorokhov

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

Mikhail N. Erokhin

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

Yuriy A. Ivanov

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

Yoshisuke Kishida

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

Yuriy F. Lachuga

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

Antonin Makhalek

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

Vladimir D. Popov

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

Xinmin Liu

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

Zharylkasyn S. Sadykov

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

Davron R. Norchaev

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

Yuliya S. Tsench

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

Vyacheslav I. Chernouvanov

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

Published 4 times a year (open price).

Publication date is 21.09.2023,

The format is 60 x 90/8. The volume is 11.5 print's sheets. The circulation is 500 copies.

Printed by FSBSI FSAC VIM.



ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Ценч Ю.С., Курбанов Р.К.
История развития систем управления беспилотных воздушных судов 4

Ценч Ю.С., Захарова Н.И.
Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель .16

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ САДОВОДСТВА

Марченко Л.А., Смирнов И.Г., Спиридонов А.Ю.
Обоснование конструктивно-технологических параметров модуля мультивентиляторного опрыскивателя27

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Семенихина Ю.А., Камбулов С.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А.
Исследование по возделыванию тритригии в полусухой зоне34

Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Соловьёв С.В., Казаков И.Б.
Технология и установка очеса в линии первичной переработки льна-долгунца 43

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА

Ахметов А.А., Камбаров Б.А., Камбарова Д.У., Султанов Ж.А.
Оценка соответствия колеи трактора с междурядьем посевов сельскохозяйственных культур 48

Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И., Карпов М.В.
Разработка сменного ковшового рабочего органа с дополнительным захватом для каналоочистителя ОКН-0,5 54

Корнюшин Ю.П., Лавров А.В., Сидорова А.В.
Моделирование случайных процессов, обусловленных профилем опорной поверхности транспортно-технологических средств 61

Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Бабенко О.С., Белоусов С.В.
Методика инженерного расчета рабочего органа для мелкой обработки почвы 67

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Тошболтаев М.Т., Эгамназаров Б.
Обоснование состава, типа и количества технических средств для рисоводческих кластеров 73

ПОСЛЕУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН НА ЗЕРНО

Хамуев В.Г., Герасименко С.А.
Определение толщины сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале .. 79

ТЕХНИКА ДЛЯ ОВОЩЕВОДСТВА

Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Пономарев А.Г., Сазонов Н.В.
Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка 85

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Tsench Yu.S., Kurbanov R.K.
History of unmanned aircraft flight controller development 4

Tsench Yu.S., Zakharova N.I.
Trends in development of agricultural aerial photography technology 16

GARDENING VEHICLES AND TECHNOLOGIES

Marchenko L.A., Smirnov I.G., Spiridonov A.Yu.
Substantiation of the design and technological parameters of a multi-fan sprayer module 27

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I., Semenikhina Yu.A., Kambulov S.I., Rudoy D.V., Maltseva T.A.
Investigating tritritrigia cultivation in a semi-arid zone 34

Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Solovyov S.V., Kazakov I.B.
Technology and implementation of flax stripping in the primary flax processing line 43

SOIL TILLAGE EQUIPMENT AND SOWING

Akhmetov A. A., Kambarov B. A., Kambarova D.U., Sultanov Zh.A.
Assessment of tractor track width compatibility with crop inter-row spacing 48

Abdulmashidov Kh.A., Balabanov V.I., Karpov M.V.
Development of a replaceable bucket with an additional gripper for OKN-0.5 reclamation canal cleaner 54

Kornyushin Yu. P., Lavrov A.V., Sidorova A.V.
Modeling random processes induced by the support surface profile in transport and technological systems 61

Kambulov S.I., Parkhomenko G.G., Babenko O.S., Belousov S.V.
Methodology for engineering calculation of working bodies for shallow tillage 67

MACHINERY FOR PLANT GROWING

Toshboltaev M.T., Egamnazarov B.
Rationale for the composition, type and quantity of technology for rice clusters 73

POST-HARVEST PROCESSING OF SEEDS FOR GRAIN

Khamuev V.G., Gerasimenko S.A.
Quantifying narrowing partition thickness in a vertical pneumatic separation channel for soybean seed cleaning 79

MACHINERY FOR VEGETABLE GROWING

Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V., Ponomarev A.G., Sazonov N.V.
Theoretical foundations for intensifying onion set harvesting 85

История развития систем управления беспилотных воздушных судов

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Беспилотные воздушные суда успешно применяются и все более востребованы во многих сферах. Современные системы управления полетом позволяют создавать и программировать беспилотные аппараты для выполнения различных задач. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ развития систем управления с времен появления первых беспилотных летательных аппаратов до полетных контроллеров современных многофункциональных дронов. (*Материалы и методы*) Выполнили сбор и обработку данных с использованием историко-аналитического метода. Исследовали оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов по литературным источникам, статьям в научных журналах, монографиям, материалам конференций, экспозиции музеев, фотоматериалам, а также исходного кода программного обеспечения, размещенного в открытом доступе. (*Результаты и обсуждение*) Исторический процесс развития беспилотных летательных аппаратов привел к появлению множества типов конструкций, обеспечивающих лучшие полетные характеристики и новые функции благодаря созданию систем управления полетом. В конструкции беспилотных систем внедрялись передовые достижения науки, техники и технологий, использовался мировой опыт в области теории и практики авиации. Миниатюризация систем управления полетом способствовала массовому распространению беспилотных аппаратов. Появление интеллектуальных режимов управления полетом обеспечило высокую автономность действий беспилотников. (*Выводы*) В рамках исследования составлены блок-схемы систем управления беспилотными воздушными судами по мере их развития, также составлена блок-схема, обобщающая эволюцию таких систем с периодизацией отдельных этапов. Выявлены девять таких этапов, в текущий момент основным направлением является разработка систем интеллектуального управления. Установили, что активное расширение областей применения и функций беспилотных летательных аппаратов связано с развитием и улучшением технологий микроэлектромеханических систем. Отметили основные полетные контроллеры, оказавшие большое влияние на усовершенствование беспилотных воздушных судов, спрогнозировали возможные перспективы развития полетных контроллеров.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, беспилотный летательный аппарат, система управления полетом, полетный контроллер, история развития.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Курбанов Р.К. История развития систем управления беспилотных воздушных судов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 4-15. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-4-15. EDN YLCOYB.

History of Unmanned Aircraft Flight Controller Development

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

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Unmanned aircraft find successful applications across various fields and continue to see increasing demand in numerous sectors. Modern flight control systems empower the creation and programming of unmanned vehicles for a diverse range of tasks. (*Research purpose*) This study aims to retrospectively analyze the evolution of drone control systems, tracing their development from the early unmanned aerial vehicles to the flight controllers of modern multifunctional drones. (*Materials and methods*) The study employs the historical-analytical method for data collection and processing. This encompasses a thorough examination of original works by both domestic and foreign authors, including literary references, scientific journal articles, monographs, conference materials, museum exhibitions, photographic archives, and open-access software source code. (*Results and discussion*) The historical process of unmanned aerial vehicle development has led to the emergence of many types of designs that provide

better flight performance and new functions through the creation of flight control systems. Designers integrated worldwide aviation expertise and the latest advancements in science, engineering, and technology to enhance unmanned systems. The miniaturization of flight control systems has facilitated the widespread adoption and application of unmanned aerial vehicle in many domains. The introduction of intelligent flight control modes has ensured a high level of autonomy in drone operations. (*Conclusions*) In the course of the research into the historical development of control systems for unmanned aerial vehicles, block diagrams illustrating these control systems were created. Additionally, a block diagram was constructed outlining the evolution of these systems, with a periodization of individual stages. The block diagram includes nine stages; with the current emphasis primarily directed towards the advancement of intelligent control systems. The findings confirm that the extensive diversification of unmanned aerial vehicle applications and functionalities is closely linked to the continuous development and enhancement of micro-electro-mechanical systems technologies. The study identifies the key flight controllers that have significantly influenced the enhancement of unmanned aircraft and have outlined potential directions for the future development of flight controllers.

Keywords: unmanned aircraft, unmanned aerial vehicle, UAV, flight control system, flight controller, development history.

For citation: Tsench Yu.S., Kurbanov R.K. Istoriya razvitiya sistem upravleniya bespilotnykh vozdushnykh sudov [History of unmanned aircraft flight controller development]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 4-15 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-4-15. EDN YLCOYB.

В 1903 году американцы братья Уилбер и Орвилл Райт совершили первый в мире управляемый человеком полет на аппарате тяжелее воздуха с двигателем собственной конструкции. Вскоре был изготовлен и первый беспилотный летательный аппарат. С тех пор технологии в области беспилотных полетов непрерывно совершенствовались, расширялись их сферы использования.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в обиходе получившие название «дрон» (от англ. drone – трутень), или «беспилотник», – это летательные аппараты без экипажа на борту, которые могут управляться в полете дистанционно оператором, а также полностью автоматически [1]. Согласно определению в Воздушном кодексе РФ, беспилотным считается воздушное судно, управляемое и контролируемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна (п. 5 ст. 32).

Создание беспилотного воздушного судна (БВС) изначально во многом было связано с решением военных задач, прежде всего для сокращения потерь летчиков и боевой техники [2]. Примерно до середины XX века БПЛА в основном представляли собой «летающую бомбу» или аппарат самолетного типа, несущего боевой снаряд. Из-за сложной и громоздкой механической конструкции возможности их применения были ограничены.

Развитие полупроводниковой электроники и появление доступных быстродействующих микроконтроллеров позволили разрабатывать автоматизированные системы управления полетом и существенно расширить функционал, что привело к миниатюризации как гражданских, так и военных БВС.

Благодаря этому в XXI веке получили новое развитие мультикоптеры уже как беспилотные аппараты, поскольку ранее их недостатком была сложная трансмиссия и необходимость постоянной электронной стабилизации в полете. Совершенствование мультикоптеров в свою очередь стимулировало развитие полетных контроллеров, в том числе в различных гражданских целях.

Прогресс в этой области авиастроения продолжает набирать обороты. Рассмотрим процесс развития систем управления беспилотников, начиная от первых прототипов БПЛА до полетных контроллеров «малых» БВС весом до 30 кг. Сейчас такие модели находятся на пике популярности, используются для фото- и видеосъемки, наблюдения за промышленными, сельскохозяйственными и другими объектами.

Система управления полетом (полетный контроллер) – это микропроцессорное устройство управления летательным аппаратом (его газом, креном, тангажом и рысканьем).

Цель исследования – провести ретроспективный анализ появления и совершенствования систем управления полетом с первых беспилотных летательных аппаратов до современных дронов.

Материалы и методы. Работа выполнена на основе литературных и других источников информации по заявленной теме с использованием историко-аналитического метода. Исследовали оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: статьи в научных журналах, монографии, материалы конференций, экспозиции музеев, фотоматериалы и исходный код программного обеспечения в открытом доступе.

Результаты и обсуждение. До появления самолетов и вертолетов самым простым способом совершить полет было использование летательных аппаратов легче воздуха. Эксперименты с воздухоплавательными машинами в конце XIX – начале XX века увенчались определенными успехами: из наиболее известных достижений – это первый управляемый воздушный шар Альберта Сантос-Дюмона, изобретателя и пионера авиации, а также знаменитые многочисленные дирижабли, созданные Фердинандом фон Цепелином (*рис. 1*).

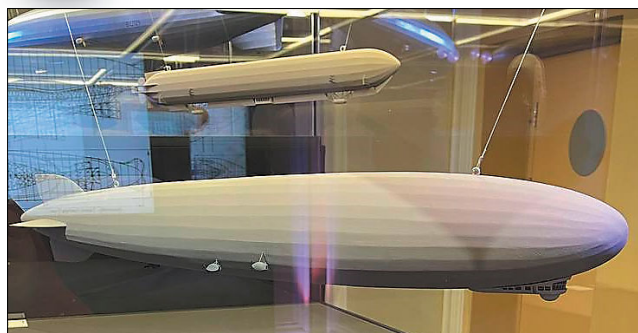


Рис. 1. Экспозиция «Граф Цепелин и первые дирижабли» в Центре «Космонавтика и авиация» (Москва). Модели в масштабе 1:200

Fig. 1. Graf Zeppelin and the first airships on display at the Cosmonautics and Aviation Museum in Moscow. The models are scaled at 1:200

Наряду с такими аппаратами ученые и инженеры в разных странах конструировали, изготавливали и испытывали летательные аппараты, которые были тяжелее воздуха. Одним из первых был Карл Вильгельм Отто Лилиенталь, немецкий инженер, основоположник науки о планеризме, совершивший на своих планерах более 2 тысяч полетов. Мощные стимулы и большой рывок это направление получило в период мировых войн XX века [3].

1 этап – первые БПЛА. Первым летательным аппаратом, оснащенным автопилотом, стал «Автоматический аэроплан Хьюитта-Сперри», известный как «Летающая бомба Сперри» (рис. 2). Первые испытательные полеты на нем, сначала с летчиком в кабине, были совершены в 1917 году.



Рис. 2. Беспилотный аэроплан Хьюитта-Сперри
Fig. 2. Hewitt-Sperry unmanned aeroplane

Для полета аэроплана по заданному курсу заранее настраивались два бортовых гироскопа, пилот отвечал за взлет и посадку, а автопилот управлял другими этапами полета (рис. 3). Беспилотники Хьюитта-Сперри разрабатывались по заказу ВМФ США в годы Первой мировой войны, но в итоге так и не были использованы в военных операциях.

Исторически первым БПЛА считается *Kettering Beetle* («Жук Кеттеринга») [4]. Это была еще одна экспериментальная «летающая бомба» («воздушная торпеда»), разработанная и изготовленная Чарльзом Кет-

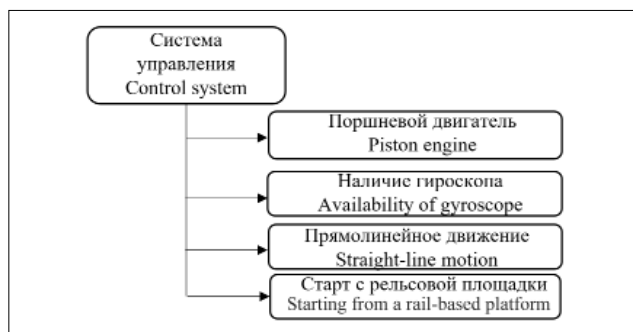


Рис. 3. Система управления Хьюитта-Сперри
Fig. 3. Hewitt-Sperry control system

терингом в 1917 году по заказу Армии США [5].

Небольшой биплан длиной 3,8 м, с размахом крыльев 4,5 м, предшественник современной крылатой ракеты, был рассчитан на дистанционное управление (рис. 4). Фюзеляж был деревянный, крылья изготовлены из плотного картона. Дешевый четырехцилиндровый двигатель мощностью 40 л.с. приводил самолет в движение.



Рис. 4. Модель Kettering Beetle в Национальном музее ВВС США
Fig. 4. Kettering Beetle model at the National Museum of the US Air Force

Перед запуском биплана устанавливали нужную скорость, направление ветра и расстояние, на которое должна доставляться бомба. Аппарат взлетал с небольшой повозки, поднявшись в воздух, летел к цели, управляемый с помощью вакуум-пневматической системы автопилотирования и подключенных к ней гироскопа и барометра. Гироскоп позволял стабилизировать заданный курс, высота полета контролировалась чувствительным барометром [6].

Система управления самолета Кеттеринга обеспечивала простейшие функции: удержание высоты и направления, измерение расстояния, выключение двигателя и сброс крыльев. Специальный механизм отсчитывал количество оборотов пропеллера, необходимое для преодоления заданной дистанции, после чего двигатель отключался, крылья отделялись и сна-

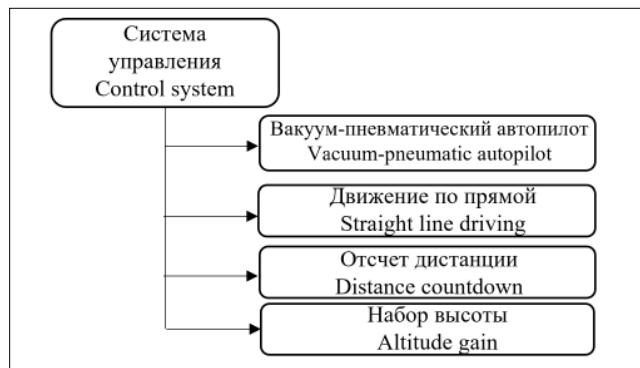


Рис. 5. Система управления автоматическим самолетом «Kettering Beetle»

Fig. 5. Control system of the Kettering Beetle unmanned airplane

ряд взрывчатым веществом падал на намеченную цель (рис. 5).

В ряде испытаний автоматический самолет показал себя хорошо, но не достаточно для того, чтобы считаться готовым оружием. Тем не менее, эта модель летательного аппарата стала важной вехой в развитии авиации и до Второй мировой войны оставалась засекреченной.

2 этап – радиоуправляемые БПЛА. Последователь Чарльза Кеттеринга, актер британского происхождения Реджинальд Денни, служивший во время Первой мировой войны в Королевских военно-воздушных силах, в 1930-е годы увлекся радиоуправляемыми самолетами. Совместно с партнерами он основал фирму *Radioplane Company*, и на предприятии в Южной Калифорнии в 1939 году был создан первый серийный БПЛА *Radioplane OQ-2* для военного применения (рис. 6).



Рис. 6. Radioplane OQ-2

Fig. 6. Radioplane OQ-2

По сути, это был первый дрон традиционной компоновки. Двухцилиндровый двигатель модели *Righter 0-15-1* развивал необходимую мощность 6 лошадиных сил, что обеспечивало максимальную скорость 137 км/ч при автономной работе примерно в течение одного часа [7]. Длина аппарата составляла 2,65 м,

размах крыльев 3,73 м, взлетный вес 47 кг.

Схема системы управления была простая – старт с катапульты и посадка с помощью автоматически срабатывающего парашюта. БПЛА был оснащен колесным шасси для смягчения удара о землю в момент приземления с парашютом. Самолет управлялся дистанционно оператором в пределах прямой видимости (рис. 7).

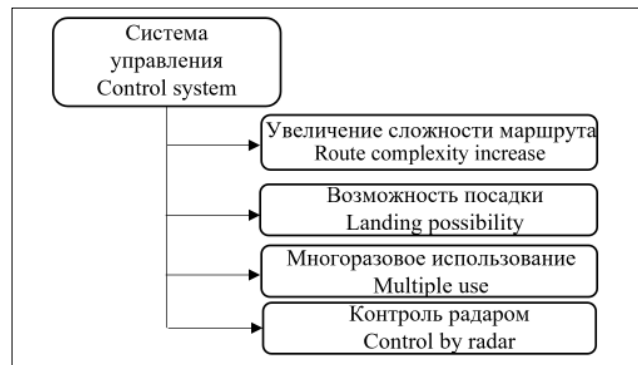


Рис. 7. Система управления полетом Radioplane OQ-2

Fig. 7. Radioplane OQ-2 control system

В основном *Radioplane OQ-2* использовался как мишень для тренировки зенитных войск. Это – первый дистанционно управляемый воздушный аппарат, поступивший в массовое производство [8]. Всего для армии и флота США было выпущено около 15 000 БПЛА. Модель послужила основой для других родственных марок беспилотников.

3 этап – летательные аппараты времен Второй мировой войны. На следующем этапе эволюции беспилотников появился боевой самолет-снаряд «Фау-1» (рис. 8).



Рис. 8. Беспилотный крылатый самолет-снаряд «Фау-1»

Fig. 8. Fi-1 unmanned cruise missile aeroplane

Модель «Фау-1» (*Fi*) была разработана в Германии в 1942-1944 годах как «оружие возмездия» (нем. *Vergeltungswaffe*) и стала первой неуправляемой крылатой ракетой с реактивным двигателем, которая производилась серийно и применялась в реальных боевых действиях. В ее создании важную роль сыграли изобретения более раннего периода, в частности, первый работающий импульсный двигатель, запатентованный в 1906 году русским инженером В.В. Караво-

динами, бесклапанный импульсный двигатель для применения в самолетах французского изобретателя Жоржа Марконне, запатентованный в 1908 году.

Длина «Фау-1» была около 8 м, не считая длинной выхлопной трубы реактивного двигателя, размах крыльев около 5,5 м, вес боезаряда 850 кг, скорость около 580 км/ч, средняя дальность полета 240 км. Для стабилизации полета были установлены гироскоп и стабилизаторы. Ракета летала только по прямой, перед стартом задавались параметры ее курса, высоты и дальности полета. Импульсно-реактивный двигатель не мог работать на скорости менее 240 км/ч, и ракету запускали с катапульты или самолета.

После старта снаряд летел автономно (рис. 9). Управление системой пилотирования осуществлялось с помощью пневматического устройства, которое работало на сжатом воздухе. Система управления обеспечивала заданные параметры на протяжении всего полета (рис. 10).

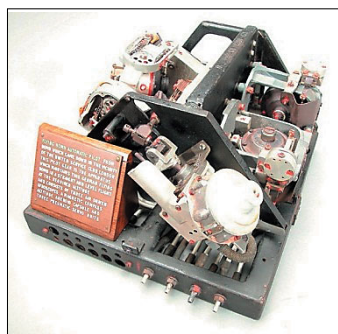


Рис. 9. Фрагмент автопилота для управления «Фау-1»
Fig. 9. Autopilot fragment for controlling Fi-1

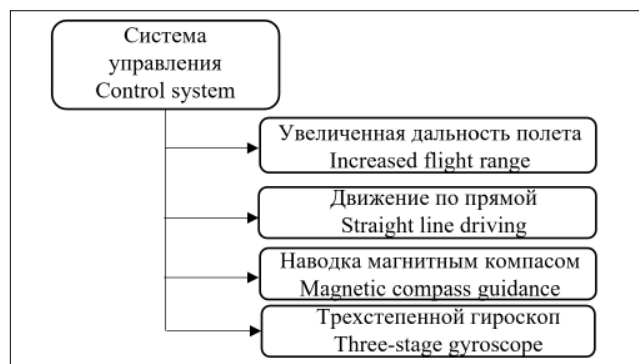


Рис. 10. Система управления «Фау-1»
Fig. 10. Fi-1 control system

Специальные регуляторы на автопилоте позволяли установить высоту полета перед запуском. Три пневматических гироскопа поддерживали курс и высоту, с помощью пневматических сервоприводов система была подключена электронным способом к компасу в носовой части для контроля изменений курса. По таймеру, приводимому в действие пропеллером, определялся момент отключения импульсно-реактивного двигателя и начала пикирования к цели [5, 9].

Всего было запущено с самолетов-носителей около 1176 ракет «Фау-1».

4 этап – беспилотный вертолет. Со временем в качестве беспилотных летательных аппаратов стали использовать вертолеты-мультикоптеры. Первым был принят на вооружение беспилотный вертолет *Gyrodyne QH-50 DASH* (рис. 11).



Рис. 11. Беспилотный вертолет Gyrodyne QH-50 DASH
Fig. 11. Gyrodyne QH-50 DASH unmanned helicopter

Gyrodyne QH-50 – дистанционно управляемый аппарат (*DASH – Drone Anti-Submarine Helicopter*) использовался ВМС США с середины 1950-х годов для обороны против подводных лодок, а позже как мишень для испытаний ракетного оружия [10]. Первый полет *Gyrodyne QH-50* был проведен в 1959 году, первое беспилотное приземление на борт корабля – 7 декабря 1960 года.

QH-50 DASH имел максимальную взлетную массу 1046 кг, развивал максимальную скорость 148 км/ч, его длина 3,9 м, высота 3 м, дальность полета 132 км, практический потолок полета 4939 м. Вертолет мог нести на борту две самонаводящиеся торпеды МК-44 [11]. Корпус представлял собой открытый двигатель без обшивки, два двухлопастных несущих винта, установленных соосно, ходовая часть была выполнена на салазках для устойчивой посадки на палубу или другую ровную поверхность.

Вертолет управлялся дистанционно с двух пультов с двух разных постов [12, 13]. Взлет и посадка контролировались визуально оператором, полет – по радиолокационным приборам (рис. 12).

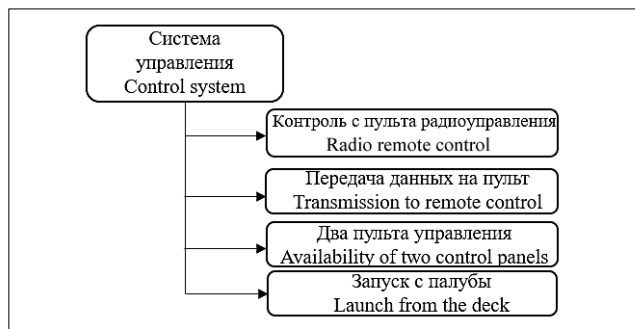


Рис. 12. Система управления Gyrodyne QH-50 DASH
Fig. 12. Gyrodyne QH-50 DASH control system

Вертолетный дрон полностью управлялся путем

изменения параметров (угла атаки) лопастей ротора и аппаратурой автоматической стабилизации. Всего было произведено 700 аппаратов *Gyrodyne QH-50* различных модификаций, в 1969 году ВМС США отказались от их применения из-за ненадежности аппаратуры управления и сокращения военного бюджета в связи с войной во Вьетнаме.

5 этап – полетные контроллеры для моделирования. В последующие 40 лет произошел стремительный рост «малых» беспилотных летательных аппаратов. В эту категорию входят военные, коммерческие и персональные БПЛА, а также системы дистанционного управления. Широкое распространение их связано с улучшением технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС). Если в прошлом гироскопы были громоздкими системами, то благодаря технологии МЭМС гироскопы и акселерометры стало возможным масштабировать как микросхемы. Претерпели ряд изменений и электродвигатели, на смену щеточных появились бесщеточные двигатели. С переходом от двигателей *inrunner* к *outrunner* отпала необходимость в редукторах, понижающих общую мощность.

Развитие БВС привело к появлению множества летательных аппаратов: это мультикоптеры, аппараты самолетного типа, гибриды, с миниатюрной системой управления и широким спектром возможностей.

Полетный контроллер представляет из себя печатную плату, оснащенную различными датчиками, которые получают команды от внешнего пилота и управляют полетом дрона. Некоторые полетные контроллеры имеют базовые датчики, такие как гироскоп и акселерометр, но в зависимости от моделей дополнительно могут комплектоваться барометром и компасом. Полетный контроллер также поддерживает подключение регуляторов двигателей, датчика *GPS/ГЛОНАСС*, светодиодов, сервоприводов, радиоприемника, телеметрии, камеры, видеопередатчика и других периферийных устройств беспилотника. По мере развития технологий полетные контроллеры становятся более компактными и функциональными, в них используются более производительные процессоры и оборудование.

История полетного контроллера дрона прослеживается с 2009 года, когда для управления был использован гироскоп и акселерометр из контроллеров *WiiMotionPlus* и *WiiNunchuk* от игровой консоли с платой *Arduino*. Это привело к развитию проекта *MultiWii* с открытым исходным кодом, в рамках которого в итоге была создана собственная плата контроллера полета (рис. 13), работающая на 8-битном процессоре *Atmel*.

На плате были установлены 8-битный микроконтроллер *ATMega328* либо *ATMega2560*, трехосевой гироскоп и трехосевой акселерометр в едином корпусе *MPU6050*, барометр *BMP085* и электронный магнит-

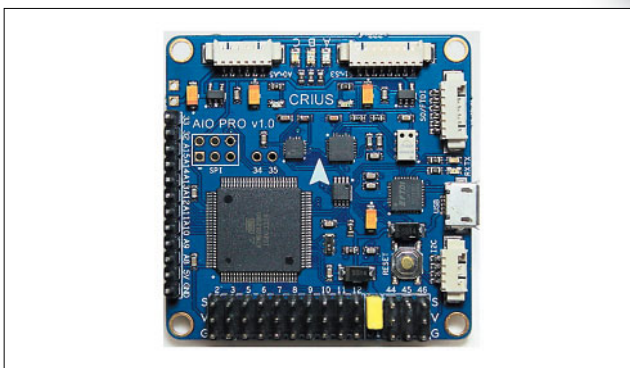


Рис. 13. Полетный контроллер *MultiWii*
Fig. 13. *MultiWii* flight controller

ный компас *HMC5883L*. Так как были любительские версии, то данные элементной базы приведены в общем виде и могут отличаться для различных версий плат. На контроллерах, выпускаемых после 2012 года, уже устанавливали 32-битный микроконтроллер (*STM32*), акселерометр *MPU6050* и барометр *MS5611*, которые, в отличие от предыдущих моделей, обеспечивали стабильный полет [14].

Используемые на плате бюджетные датчики необходимо максимально защищать от вибрации, оказывающей влияние на стабильность полета. Несмотря на всю гибкость, производительность *MultiWii* нестабильна, особенно по функции удержания высоты. В целом контроллер требует длительной настройки и поисков компромиссных решений (рис. 14).

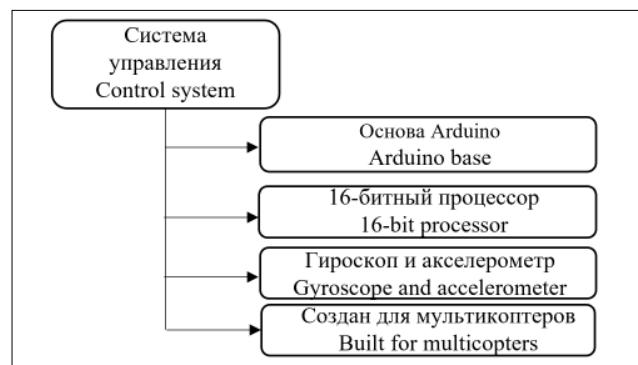


Рис. 14. Система управления полетного контроллера *MultiWii*
Fig. 14. *MultiWii* flight controller system

Хотя данный полетный контроллер считается устаревшим, существуют его современные ветви развития. Следующим шагом был переход на более производительные микроконтроллеры. В 2013 году была создана плата *Naze32* с 32-разрядным процессором, а исходный код *MultiWii* был портирован под названием «*Baseflight*» (рис. 15).

В 2014 году основатель проекта Доминик Клифтон (Гидра) модифицировал *Baseflight* и создал *Cleanflight*, что привело к бурному росту 32-битных полетных контроллеров. В 2015 году был создан *Betaflight* с использованием исходного кода *Cleanflight*

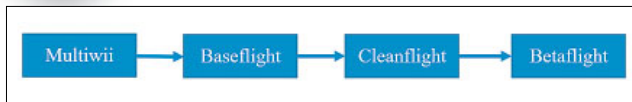


Рис. 15. Ветви развития проекта MultiWii
Fig. 15. Branches of the MultiWii project development

и внесением в него значительных изменений. *Betaflight* был в основном направлен на улучшение производительности *Cleanflight*, а также на добавление новых функций и возможностей. *Betaflight* обогнал по популярности *Cleanflight* и сейчас является самым распространенным программным обеспечением для полетных контроллеров с множеством функций и активной разработкой.

В 2009 году в рамках открытого проекта *OpenPilot* был создан полетный контроллер *CopterControl 3D* (рис. 16). *OpenPilot* – это программное обеспечение для полетных контроллеров, который создавался во многих проектах с разными разработчиками. *CopterControl 3D* (CC3D) предназначен для акробатических полетов с помощью датчика *GPS*. Программное обеспечение *OpenPilot* поддерживает плату *CC3D* и позволяет управлять БПЛА самолетного и мультироторного типов.

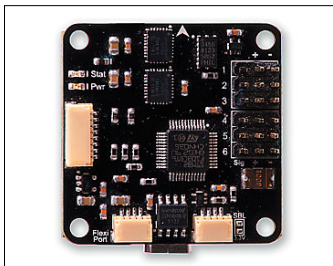


Рис. 16. Полетный контроллер *CopterControl 3D*
Fig. 16. *CopterControl 3D* flight controller

CopterControl 3D – один из самых ранних полетных контроллеров, использующий 32-битную архитектуру. На плате установлены микроконтроллер *STM32F103* и датчик акселерометр/гироскоп *MPU6000*. Плата имеет 6 портов, помеченные как входы (по одному контакту на каждый), и 6 портов, помеченные как выходы двигателя/сервопривода (по 3 контакта на каждый). Плата имеет поддержку прямого подключения к компьютеру по *USB*. Информация представлена в общем виде и может отличаться для разных версий плат (рис. 17).

У полетного контроллера были проблемы с поддержкой одновременной работы трех *MSP* портов, а также невозможность полета по *GPS* с официальной прошивкой. *OpenPilot* прекратил поддержку и более не выпускает обновления для *CopterControl 3D*. На данном контроллере были собраны многие БПЛА с функцией *FPV* (*First Person View*, «вид от первого лица»).

6 этап – решение от *ArduPilot*. Один из наиболее



Рис. 17. Система управления *CopterControl 3D*
Fig. 17. *CopterControl 3D* control system

функциональных полетных контроллеров с открытым исходным кодом – *ArduPilot Mega* (*APM*), совместимый с *Arduino*. *ArduPilot* – это программное обеспечение с открытым исходным кодом для беспилотных аппаратов.

APM – автопилот профессионального качества, разработан на основе платформы *Arduino Mega* сообществом *DIY Drones*. *APM* работает с программным обеспечением *ArduPilot*. *DIY Drones* в 2007 году основал Крис Андерсон, а в 2009 году совместно с Хорди Муньосом была основана компания *3D Robotics* и выпущена первая плата *ArduPilot*. В 2010 году компания *3D Robotics* выпустила контроллер *APM1* (рис. 18).

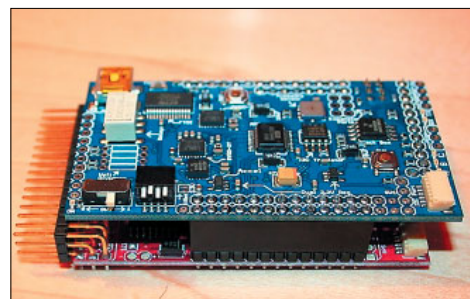


Рис. 18. Полетный контроллер *ArduPilot Mega v1.0*
Fig. 18. *ArduPilot Mega v1.0* flight controller

На его базе доступна поддержка летающих, наземных и лодочных аппаратов. Полетный контроллер *ArduPilot Mega* позволяет совершать полет по точкам и обладает возможностью двухсторонней передачи телеметрических данных.

Полетный контроллер представляет собой микропроцессорное управляющее устройство. При этом алгоритмы управления реализуются программно. *ArduPilot* позволяет настроить управление и сформировать маршрут через программное обеспечение *Mission Planner*. Система управления состоит из 8-битного контроллера *ATMega2560* с датчиками *MS5611* и *MPU6000*. Барометр позволяет стабилизировать барометрическую высоту полета аппарата и автоматическую посадку в точке старта. С целью повышения

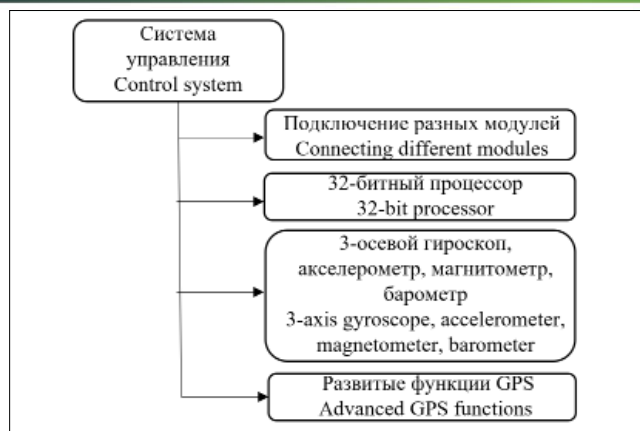


Рис. 19. Система управления ArduPilot Mega
Fig. 19. ArduPilot Mega control system

безопасности эксплуатации или выполнения специальных функций могут применяться и другие датчики (рис. 19). По сравнению с вышеописанными платами ArduPilot Mega более стабильный во время полета. Проект ArduPilot развивается, выходят другие полетные контроллеры и программное обеспечение с открытым исходным кодом, постоянно обновляется улучшенными функциями.

7 этап – новое поколение полетных контроллеров. В поисках автономного полета Лоренц Мейер преследовал очень амбициозный план: чтобы дроны летали автономно с помощью компьютерного зрения. В 2009 году команда Pixhawk разработала полетный контроллер и выпустила свое программное обеспечение с открытым исходным кодом. Вскоре были выпущены программное обеспечение для управления полетом Pixhawk 4 (PX4), протокол связи MAVLink и программное обеспечение QGroundControl для настройки БПЛА. В начале 2013 года данная открытая аппаратная платформа начала внедряться различными компаниями, в частности 3D Robotics. Параллельно команда разрабатывала устройства первого и второго поколения (Flight Management Unit version 2:FMU v2), под названием Pixhawk (рис. 20).



Рис. 20. Полетный контроллер Pixhawk 1
Fig. 20. Pixhawk 1 flight controller

Контроллер поддерживает как летающие аппараты, так и наземные, и подводные, дополнительные модули и стандарты для их связи, и получил большую популярность из-за своей универсальности (рис. 21).



Рис. 21. Система управления Pixhawk
Fig. 21. Pixhawk control system

Оригинальный Pixhawk сочетает в себе PX4 FMUv2 с платой ввода-вывода PX4 IO v2. Он работает на 32-битном процессоре STM32F427 с отказоустойчивым сопроцессором STM32F103, имеет 256 КБ ОЗУ. PX4, совместим с наземной станцией управления QGroundControl, в котором задаются и считываются различные параметры, настраивается полетное задание. Pixhawk устанавливает стандарты сборки дронов с точки зрения аппаратного обеспечения, микроконтроллеров и интерфейсов.

8 этап – готовые решения. В 2010 году была выпущена первая версия готового БВС AR. Drone компании Parrot (рис. 22).



Рис. 22. БВС Parrot AR. Drone
Fig. 22. Parrot AR. Drone unmanned aerial system (UAS)

AR. Drone быстро стал популярным благодаря открытой архитектуре, управлению с помощью планшета или смартфона. В 2012 году была выпущена обновленная версия AR Drone 2.0 с четырьмя моторами мощностью 14,5 Вт, максимальной скоростью полета 18 км/ч и массой дополнительной полезной нагрузки 150 г. Полетный контроллер был на базе 32-битного процессора ARM Cortex A8. На борту были две камеры: основная для съемки и режима FPV с разрешением 720p и дополнительная с разрешением 240p [15, 16]. Открытая архитектура проекта позволяла к готовому аппарату подключать дополнительные компоненты (рис. 23).

9 этап – интеллектуальное управление. Следующий этап становления готовых решений БВС связан с появлением уникальных разработок компании DJI. Главной среди них стал первый квадрокоптер Phantom, выпущенный в 2013 году [17, 18]. Квадрокоптер легко управлялся с планшета или смартфона.

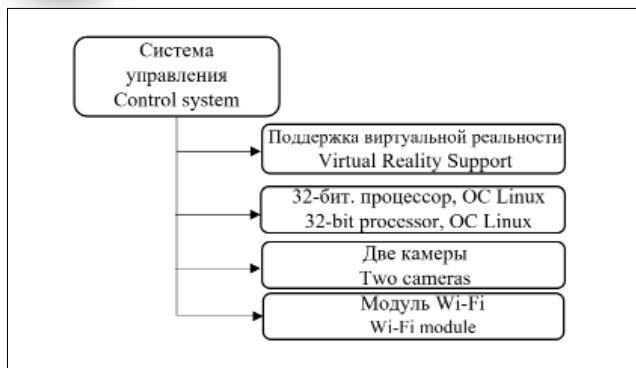


Рис. 23. Система управления Parrot AR. Drone
Fig. 23. Parrot AR. Drone control system

После успеха в том же году был выпущен *Phantom 2* различных модификаций, содержащий обновленный набор функций системы управления. Кроме квадрокоптеров компания *DJI* выпускала подвесы *Zenmuse* и другие продукты (рис. 24).



Рис. 24. БВС DJI Phantom 1 и 2
Fig. 24. DJI Phantom 1 and 2 unmanned aerial systems (UAS)

Система управления *DJI Phantom 1* и *2* основана на полетном контроллере *Naza-M Lite* с базовыми функциями стабилизации и навигации. Бортовой компьютер работает на базе аппаратной и программной платформы, разработанной *DJI* (рис. 25).

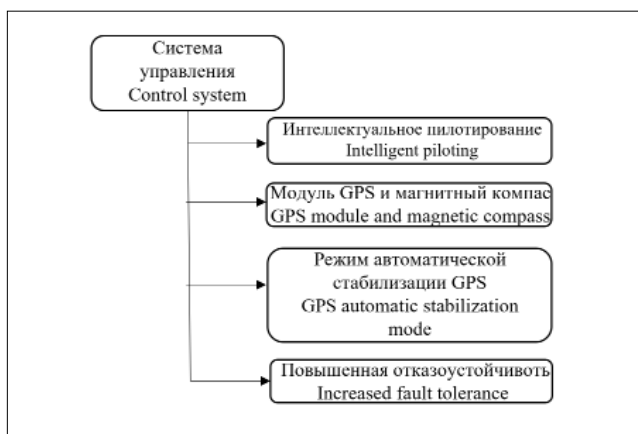


Рис. 25. Система управления DJI Phantom 1 и 2
Fig. 25. DJI Phantom 1 and 2 control system

У *DJI Phantom 2* полетный контроллер получил функцию автовозврата домой (*RTH – Return to home*). Были увеличены скорость и продолжительность полета, добавлены модуль *Wi-Fi*, возможность регулировки наклона камеры, поддержка смартфонов, план-

шетов и умных очков [19].

Выпущенный в 2015 году *Phantom 3* завоевал очередной успех. Работа компании *DJI* в направлении готовых решений продолжилась выпуском в ноябре 2016 года *Phantom 4pro* [20]. В связи с проблемой столкновения во время полета была повышена безопасность за счет системы обнаружения препятствий. Увеличились скорость и время полета. *DJI Phantom 4pro* предназначался для художественной съемки, но нашел более широкое применение, в том числе в сельском хозяйстве. С помощью специально разработанных подвесов устанавливалась мультиспектральная камера, которая позволяет получить данные о состоянии растений и спрогнозировать урожайность [15, 16] (рис. 26).



Рис. 26. БВС DJI Phantom 4 pro
Fig. 26. DJI Phantom 4 pro unmanned aerial system (UAS)

Система управления полетом *Phantom 4pro* представляет собой комбинацию аппаратных и программных компонентов, обеспечивающих пилотирование, навигацию и управление всеми аспектами полета [21]. Встроенная камера высокого разрешения с механическим затвором обеспечивает эффективную аэрофотосъемку. Интеллектуальная функция «возврат домой» позволяет ориентироваться в пространстве и, выбрав кратчайший путь, автономно возвращаться в точку взлета [22, 23]. Управление пользователем и настройка системы осуществляются через специальное

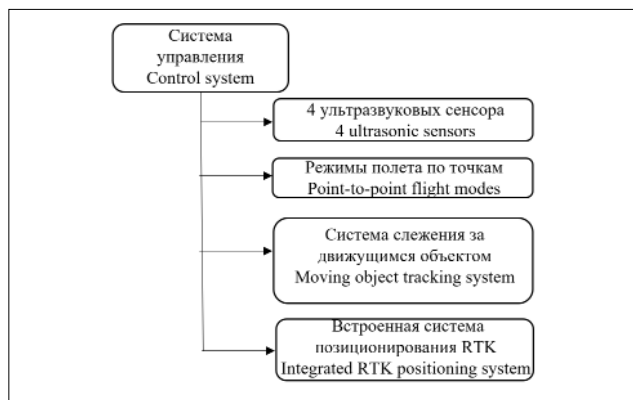


Рис. 27. Система управления DJI Phantom 3 и 4
Fig. 27. DJI Phantom 3 and 4 control system

мобильное приложение, которое одновременно облегчает потоковую передачу видео с бортовой камеры (рис. 27) [24].

В результате исторического анализа развития систем управления беспилотников была составлена блок-схема основных этапов их хронологического развития (рис. 28).

Дальнейшие перспективы. По мере развития по-

ских университетов предложили реализовывать технологию так называемого роевого интеллекта (*Swarm Intelligence*). Беспилотники с использованием технологий искусственного интеллекта смогут обучаться и адаптироваться на основе ситуации, в которой оказались. Также возрастет автономность БВС, сейчас они управляются людьми, а через несколько лет потребность в операторах исчезнет. Интеллектуальные платформенные решения будут выполнять заданные миссии самостоятельно.

Выводы

Исторический анализ развития систем управления полетом беспилотных летательных аппаратов показывает, что над ними работали несколько поколений ученых, инженеров и испытателей из разных стран. Такая работа началась еще во время Первой мировой войны. БПЛА появились в 1917 году, а система управления полетом обеспечивала минимальные возможности. В 1930-е годы появились первые образцы дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. Система управления также была простой, а дистанционное управление осуществлялось только в пределах прямой видимости.

В период Второй мировой войны в 1942-1944 годах были созданы первые крылатые ракеты, система управления полетом которых обеспечивала увеличенную дальность полета и большую точность курса. В 1950-е годы были разработаны беспилотные радиоуправляемые вертолеты. Система управления позволяла в процессе полета контролировать вертолет по приборам радиолокационным способом, а также обеспечивала взлет и посадку с горизонтальной поверхностью.

История миниатюрного полетного контроллера БПЛА начинается с 2009 года. Было выделено четыре ключевых полетных контроллера, получивших широкое распространение и повлиявших на дальнейшее развитие возможностей БПЛА. Полетные контроллеры обеспечивали множество функций, и на этом этапе был реализован автономный полет. Полетные контроллеры установили стандарты создания БПЛА и программного обеспечения для них.

В 2010 году было выпущено первое беспилотное воздушное судно как готовое решение. Квадрокоптер управлялся с помощью планшета или смартфона и обеспечивал полет в режиме FPV (вид от первого лица). С 2013 года появились БВС с интеллектуальными режимами полета и системой обнаружения препятствий.

Дальнейшее развитие систем управления полетом БВС связана с внедрением технологий искусственного интеллекта. Интеллектуальная система управления расширит функции пилотирования и автоматизации беспилотных устройств, что позволит их использовать в различных сферах.

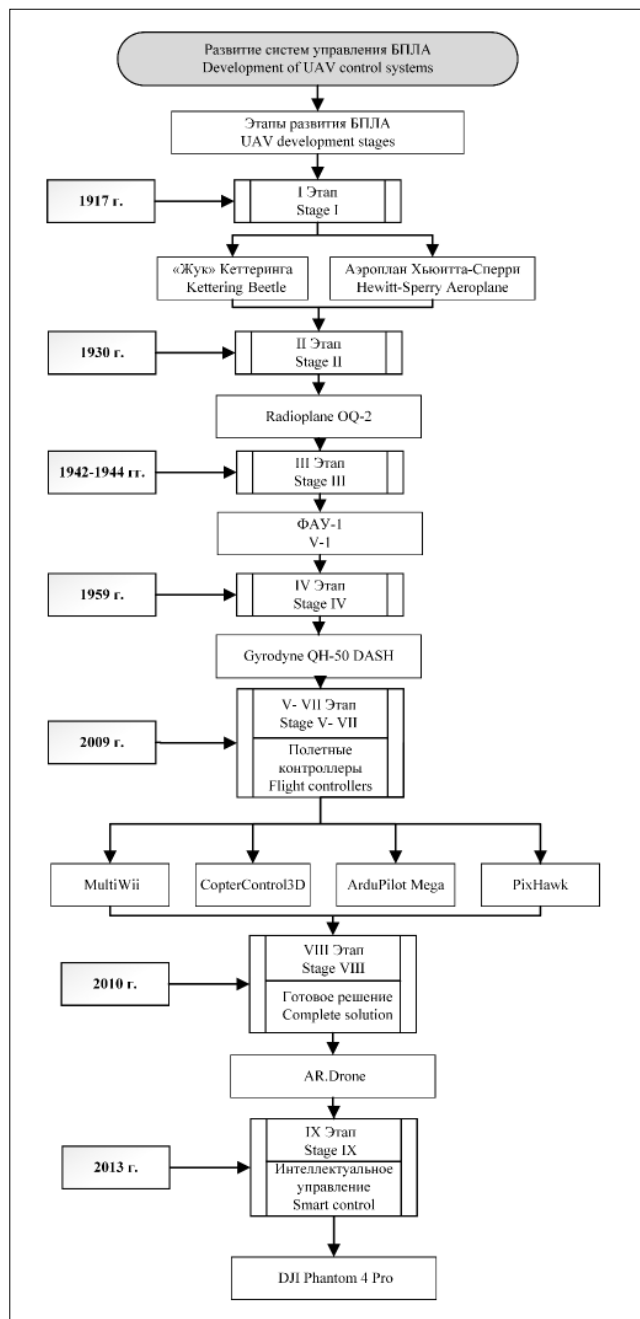


Рис. 28. Блок-схема развития систем управления БПЛА
Fig. 28. Block diagram of UAV control systems development

летных контроллеров их производительность и возможности стремительно растут. Это позволит внедрить в систему управления полетом искусственный интеллект. Исследователи из британских и француз-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г.П. Свищёв. М.: Большая российская энциклопедия, 1994. С. 108-116.
2. 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.
3. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. N3(47). С. 117-123.
4. 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.
5. Арзамасцев А.А. Задачи маршрутизации для беспилотных мультироторных летательных аппаратов. *Материалы и методы инновационных исследований и разработок: сб. статей Международной научно-практической конференции*. Оренбург: Аэтерна. 2018. С. 5-8.
6. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. N15(4). С. 6-10.
7. Костомахин М.Н., Курбанов Р.К., Кынев Н.Г. Точное земледелие расширяет свои границы // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N3. С. 7-9.
8. Kim J., Kim I., Ha E., Choi B. UAV Photogrammetry for Soil Surface Deformation Detection in a Timber Harvesting Area. *Forests*. 2023. N14. 98-104.
9. Степанов С.В., Волков С.С., Набатчиков А.В. Моделирование системы питания БПЛА ближнего действия // *Математика и математическое моделирование: сб. материалов XVI Всероссийской молодежной научно-инновационной школы*. Саров: Интерконтакт. 2022. С. 31-32.
10. Veranek C.T., Roff A., Denholm B., et al. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020.
11. Yeom J., Jung J., Chang A., et al. Comparison of vegetation indices derived from UAV data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*. 2019. N11. 1548.
12. Chen A., Orlov-Levin V., Meron M. Applying high-resolution visible-channel aerial imaging of crop canopy to precision irrigation management. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 216. 196-205.
13. Cholula U., da Silva J.A., Marconi T., et al. Forecasting yield and lignocellulosic composition of energy cane using unmanned aerial systems. *Agronomy*. 2020. 10(5). 718.
14. Guan S., Fukami K., Matsunaka H., et al. Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sensing*. 2019. 11(2). 112.
15. Ammar A., Koubaa A. Deep-learning-based automated palm tree counting and geolocation in large farms from aerial geotagged images. *Agronomy*. 2021. 11(8). 1456.
16. McCrae C.D., Samiappan S., Czarnecki J.M.P., Darrin M.D. Plant density estimation and weeds mapping on row crops at emergence using low altitude UAS imagery Proceedings. Conference: *Autonomous air and ground sensing systems for agricultural optimization and phenotyping*. 2019.
17. Przybilla H.-J., Gerke M., Dikhoff I., Ghassoun Y. Investigations on the geometric quality of cameras for UAV applications using the high precision UAV test field zollern colliery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 2019. N42(2/W13). 531-538.
18. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N012062.
19. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Application of vegetation indexes to assess the condition of crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. N0140411.
20. Young D.J.N., Koontz M.J., Weeks J.M. Optimizing aerial imagery collection and processing parameters for drone-based individual tree mapping in structurally complex conifer forests. *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. N13(7). 1447-1463.
21. Albeaino G., Gheisari M., Franz B.W. A systematic review of unmanned aerial vehicle application areas and technologies in the AEC domain. *Journal of Information Technology in Construction*. 2019.
22. Kim J.S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55.
23. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178.
24. Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., et al. Application of multilayer perceptron with automatic relevance determination on weed mapping using UAV multispectral imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307.

REFERENCES

1. Aviatsiya: Entsiklopediya [Aviation: Encyclopedia]. Ch. Ed. G.P. Svishchyov. Moscow: Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya. 1994. 108-116 (In Russian).
2. 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).
3. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [To the history of agricultural machinery development]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N3(47). 117-123 (In Russian).
4. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy mod-

- ernizatsii 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).
5. Arzamastsev A.A. Zadachi marshrutizatsii dlya bespilotnykh mul'tirotnykh letatel'nykh apparatov. Materialy i metody innovatsionnykh issledovaniy i razrabotok: sb. staty Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Routing problems for unmanned multi-rotor aircraft. Materials and methods of innovative research and development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Orenburg: Aeterna. 2018. 5-8 (In Russian).
 6. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. N15(4). 6-10 (In Russian).
 7. Kostomakhin M.N., Kurbanov R.K., Kynev N.G. Tochnoe zemledelie rasshryaet svoi granitsy [Technical support for modernization of AIC]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2018. N3. 7-9 (In Russian).
 8. Kim J., Kim I., Ha E., Choi B. UAV Photogrammetry for Soil Surface Deformation Detection in a Timber Harvesting Area. *Forests*. 2023. N14. 98-104 (In English).
 9. Stepanov S.V., Volkov S.S., Nabatchikov A.V. Modelirovanie sistemy pitaniya BPLA blizhnego deystviya [Modeling the power supply system of short-range UAVs]. *Matematika i matematicheskoe modelirovanie: sb. materialov XVI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-innovatsionnoy shkoly*. Sarov: Interkontakt. 2022. 31-32.
 10. Beranek C.T., Roff A., Denholm B., et al. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascogaleus cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020 (In English).
 11. Yeom J., Jung J., Chang A., et al. Comparison of vegetation indices derived from UAV data for differentiation of tillage effects in agriculture. *Remote Sensing*. 2019. N11. 1548 (In English).
 12. Chen A., Orlov-Levin V., Meron M. Applying high-resolution visible-channel aerial imaging of crop canopy to precision irrigation management. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 216. 196-205 (In English).
 13. Cholula U., da Silva J.A., Marconi T., et al. Forecasting yield and lignocellulose composition of energy cane using unmanned aerial systems. *Agronomy*. 2020. 10(5). 718 (In English).
 14. Guan S., Fukami K., Matsunaka H., et al. Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sensing*. 2019. 11(2). 112 (In English).
 15. Ammar A., Koubaa A. Deep-learning-based automated palm tree counting and geolocation in large farms from aerial geotagged images. *Agronomy*. 2021. 11(8). 1456 (In English).
 16. McCrae C.D., Samiappan S., Czarnecki J.M.P., Darrin M.D. Plant density estimation and weeds mapping on row crops at emergence using low altitude UAS imagery Proceedings. Conference: *Autonomous air and ground sensing systems for agricultural optimization and phenotyping*. 2019 (In English).
 17. Przybilla H.-J., Gerke M., Dikhoff I., Ghassoun Y. Investigations on the geometric quality of cameras for UAV applications using the high precision UAV test field zollern colliery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 2019. N42(2/W13). 531-538 (In English).
 18. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N012062 (In English).
 19. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Application of vegetation indexes to assess the condition of crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. N0140411 (In English).
 20. Young D.J.N., Koontz M.J., Weeks J.M. Optimizing aerial imagery collection and processing parameters for drone-based individual tree mapping in structurally complex conifer forests. *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. N13(7). 1447-1463 (In English).
 21. Albeaino G., Gheisari M., Franz B.W. A systematic review of unmanned aerial vehicle application areas and technologies in the AEC domain. *Journal of Information Technology in Construction*. 2019 (In English).
 22. Kim J.S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55 (In English).
 23. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178 (In English).
 24. Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., et al. Application of multilayer perceptron with automatic relevance determination on weed mapping using UAV multispectral imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – научное руководство;

Курбанов Р.К. – обработка данных.

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

03.07.2023

25.08.2023

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – research supervision;

Kurbanov R.K. – processing of data.

The authors read and approved the final manuscript.

Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Наталья Ивановна Захарова,
младший научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Аэрофотосъемка становится неотъемлемой частью дистанционного зондирования в цифровом земледелии. Первые аэрофотографии были получены в середине XIX века. (*Цель исследования*) Провести ретроспективный анализ развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель с момента создания первого аэрофотоснимка по настоящее время. (*Материалы и методы*) Выполнен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. В рамках исследования история развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель была разделена на четыре периода: 1885-1908, 1909-1945, 1946-1979 годы, с 1980 года по настоящее время. (*Результаты и обсуждение*) В период первых экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры была получена первая фотография, разработаны первые портативные камеры и их крепления к воздушным шарам и змеям, ракетам, птицам. Технологический прогресс в первой половине XX века способствовал становлению аэрофотосъемки инструментом для широкого круга разведывательных операций, включая сельскохозяйственные задачи. Развитие космических технологий во второй половине XX века способствовало интенсивному развитию аппаратуры для аэросъемки и их носителей. Цветная аэрофотосъемка использовалась для изучения поверхности Земли. Развитие цифровых технологий в конце XX и начале XXI века способствовало использованию цифровых аэрофотоаппаратов высокого разрешения, установленных на различные носители от беспилотных воздушных судов до искусственных спутников Земли. (*Выводы*) Ретроспективный анализ показывает, что процесс разработки и создания аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель происходил скачкообразно. Развитие было связано с политической, социальной и экономической ситуацией в мире, уровнем прогресса технологий в смежных областях. Дальнейшее применение аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве в ближайшие десять лет будет способствовать повышению производительности беспилотных воздушных судов, снижению производственных затрат на аэрофотосъемку и повсеместному внедрению технологии цифрового дистанционного зондирования в аграрной сфере.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, аэрофотография, аэрофотоаппарат, фотограмметрия, дистанционное зондирование.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Захарова Н.И. Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 16-26. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26. EDN YNLXVD.

Trends in Development of Agricultural Aerial Photography Technology

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

Natalia I. Zakharova,
junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Aerial photography is becoming an integral part of remote sensing in digital agriculture. The first aerial photographs were taken in the mid-19th century. (*Research purpose*) The paper aims to retrospectively analyze the evolution of aerial photography equipment for capturing agricultural lands, beginning with the creation of the first aerial photograph up to the present day. (*Materials and methods*) A historical-analytical approach was employed to examine the existing literature. Within this study, the development of agricultural aerial photography equipment was categorized into four distinct time periods: 1885-1908, 1909-1945, 1946-1979, and from 1980 to the present day. (*Results and discussion*) In the initial phase of experimental aerial photographic equipment development, significant advancements were achieved, encompassing the emergence of the first photograph, the creation of portable cameras and their adaptation for use with hot air balloons and kites, rockets, and birds. Technological growth in the first half of the 20th century contributed to elevating aerial photography to a versatile tool applied for

a wide range of intelligence operations, including agricultural tasks. The evolution of space technologies in the second half of the 20th century resulted in the rapid development of both aerial photography equipment and their carriers. This progress facilitated the use of color aerial photography for the examination of the Earth's surface. The advancements of digital technologies at the end of the 20th century and the beginning of the 21st century facilitated the use of high-resolution digital aerial cameras mounted on various carrier platforms, ranging from unmanned aircraft to artificial Earth satellites. (*Conclusions*) A retrospective analysis reveals that the development and creation of equipment for aerial photography of agricultural lands unfolded in a sporadic fashion. This progression was closely intertwined with global political, social, and economic situation, as well as the state of technological advancement in related areas. Over the coming decade, the sustained application of aerial photography in agriculture is poised to enhance the efficiency of unmanned aircraft, reduce the production costs associated with aerial photography, and facilitate the widespread adoption of digital remote sensing technology within the agricultural sector.

Keywords: aerial photography, aerophotography, aerial camera, photogrammetry, remote sensing.

For citation: Tsench Yu.S., Zakharova N.I. Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv aerofotosemki sel'skokhozyaystvennykh zemel' [Trends in development of agricultural aerial photography technology]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 16-26 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26. EDN YNLXVD.

В сельском хозяйстве в последнее десятилетие стали активно использоваться данные аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов (БВС). Это позволяет оптимизировать процесс селекции и производства сельскохозяйственных культур, повысить урожайность [1-3]. Беспилотные воздушные технологии рассматриваются как будущее дистанционного зондирования в цифровом земледелии [4-8]. Оперативная аэрофотосъемка способствует сбору информации о посевах, почве, визуализации и анализу данных для оперативного принятия эффективных управленческих решений [9].

Цель исследования – выполнить ретроспективный анализ развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель с момента создания первого аэрофотоснимка в середине XIX века по настоящее время.

Материалы и методы. Проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследования – оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, экспозиции музеев, фотоматериалы в открытом доступе.

Результаты и обсуждение. В рамках исследования история развития аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель разделена на четыре периода: 1885-1908 годы – первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры; 1909-1945 годы – активные разработки, съемка с самолетов, применение аэрофотосъемки в военных целях; 1946-1979 годы – становление дистанционного зондирования Земли, получение спутниковых изображений; с 1980 по настоящее время – развитие цифрового аэрофотоаппарата, применение беспилотных технологий.

1 этап. 1885-1908 годы – первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры

История аэрофотосъемки берет начало в середине XIX века. В 1858 году французский фотограф Гас-

пар Феликс Турнашон, более известный как Надар (1820–1910), с привязного воздушного шара сделал первую в мире фотографию деревни Пти-Бисетр (ныне Пти-Клармар) в пригороде Парижа. В то время для фиксации изображений использовался коллодиевый процесс, при котором фотоматериал нужно было обработать в течение 15 минут. Для этого в корзине воздушного шара была целая фотолаборатория. Полученные изображения не удалось сохранить, тем не менее, Надар стал автором первого аэроснимка. В 1858 году он запатентовал устройство для поддержания камеры в вертикальном положении.

13 октября 1860 года в Соединенных Штатах Америки фотограф Джеймс Уоллес Блэк (1825-1896) сделал серию фотоснимков над Бостоном с привязного воздушного шара «Королева воздуха» Сэмюэля Кинга. Для создания изображений использовались мокрые коллодиевые пластины. Получилось только одно изображение вида с высоты 1200 футов (~365 м), которое является первым сохранившимся аэрофотоснимком (*рис. 1*).

В 1877 году английский изобретатель Уолтер Бентли Вудбери (1834-1885) запатентовал фотоаппарат, которым можно было управлять с земли с использованием электрического кабеля. В то время фотография находилась в зачаточном примитивном состоянии.

Через несколько лет был изобретен способ, не требующий наличия фотолаборатории в корзине воздушного шара. Внедрение технологии с применением сухой пластины и более совершенного оборудования для фотоаппаратов позволило сосредоточиться на процессе съемки. Француз Жан Никола Трушелю (1811-1890) считается автором первых фотографий, сделанных камерой с сухой пластиной при полете на воздушном шаре над Парижем в 1879 году.

В России первая аэрофотосъемка состоялась 18 мая 1886 года. Использовалась камера, разработанная Вячеславом Измайловичем Срезневским (1849-1937). Камера имела фокус на бесконечность, уста-

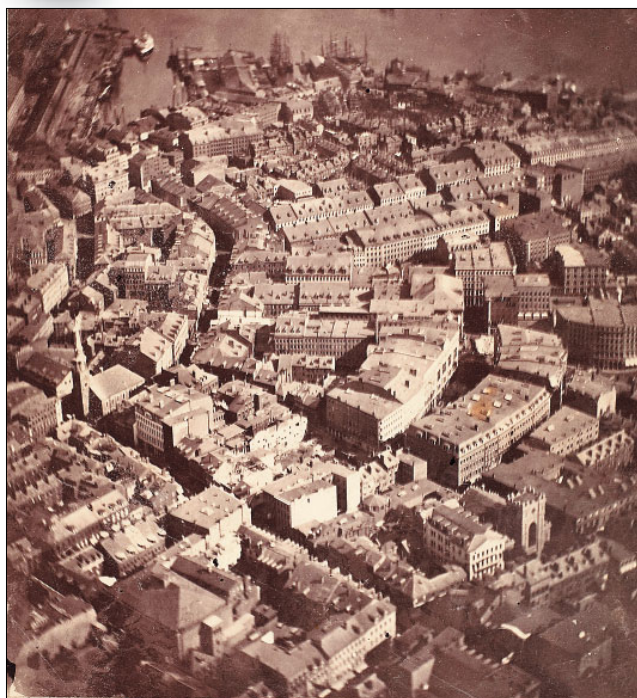


Рис. 1. Надпись на аэрофотоснимке «Бостон, каким его видят орел и дикий гусь», автор Джеймс Уоллес Блэк. [Онлайн экспозиция Метрополитен-музея, Нью-Йорк, США. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283189>]

Fig. 1. The first existing aerial photograph titled «Boston, as the Eagle and the Wild Goose See It» by James Wallace Black [the Metropolitan Museum of Art Online Exhibition, New York, USA. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/283189>]

навливалась объективом вниз. Она крепилась с помощью специального кронштейна, использовались фотопластинки форматом 24×24 см [10]. Во время этой аэрофотосъемки Леонид Николаевич Зверинцев и Александр Матвеевич Кованько (1856-1919) сделали четыре снимка по маршруту полета воздушного шара от Санкт-Петербурга до Кронштадта на высоте 800 метров (рис. 2). В 1887 году Л.Н. Зверинцев опубликовал книгу «Фотографирование с воздушных шаров».

В следующие несколько лет фотографические технологии продолжали развиваться, и вскоре появилась возможность прикреплять камеры к беспилотным летательным объектам. Британец Эдмунд Дуглас Арчибальд (1851-1913) проводил эксперименты с воздушными змеями в 1882 году. Для создания фотографии применялся заряд взрывчатого вещества на таймере. Несколько лет спустя французский фотограф Артур Батут (1846-1919) подвесил камеру к воздушному змею и автоматически установил выдержку, затвор срабатывал через несколько мгновений после запуска змея (рис. 3). Первый аэрофотоснимок им был сделан в мае 1888 года. В 1890 году Артур Батут опубликовал книгу по аэрофотосъемке с помощью воздушных змеев «La photographie aérienne par cerf-volant».

В 1897 году Альфред Нобель (1833-1896), знамени-



Рис. 2. Фотоснимок Санкт-Петербурга с воздушного шара, сделанный А.М. Кованько 18 мая 1886 г.

Fig. 2. Photograph of St. Petersburg captured from a hot air balloon by A.M. Kovanko on May 18, 1886

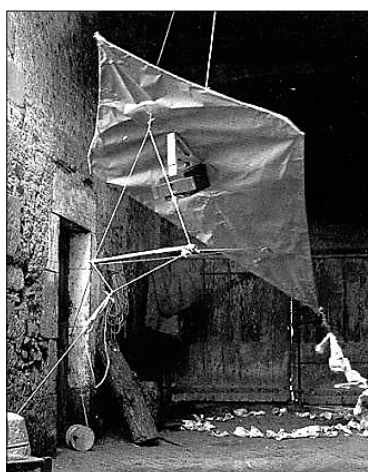


Рис. 3. Воздушный змей Артура Батута

Fig. 3. Arthur Batut's kite

тый шведский изобретатель, впоследствии учредивший Нобелевскую премию, предложил установить камеру на ракету. Идея заключалась в том, что с ракеты во время ее спуска на парашюте камера успевала сделать один снимок. Семь лет спустя немецкий инженер Альфред Мауль (1864–1941) первым использовал ракету, чтобы сделать аэрофотоснимок местности с высоты 2600 футов (~972,48 м). Камера была катапультирована и сброшена на землю. Такая ракета образца 1912 года несла фотопластинку размером 20×25 см, стабилизированную гироскопом.

Эксперименты по фотосъемке с воздушными змеями и ракетами оказались успешными, а также проводились опыты с использованием птиц. В 1908 году немецкий аптекарь Юлиус Нойброннер (1852-1932) запатентовал способ установки фотокамеры на груди голубя (рис. 4). С помощью алюминиевых ремешков к голубю прикрепляли легкую камеру с временной задержкой и получался «вид с высоты птичьего полета». Метод был широко распространен во время

Первой мировой войны. Баварский голубиный корпус использовал голубей для почтового сообщения и воздушной разведки. Камера могла работать в режиме интервальной съемки с частотой 30 секунд. Траектория полета была не всегда надежной и предсказуемой.

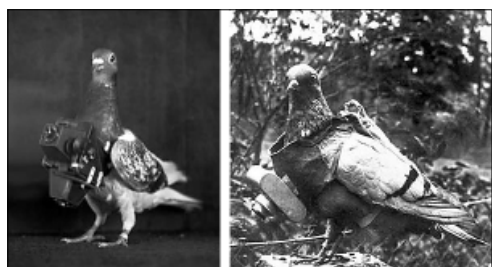


Рис. 4. «Голубиная камера» Юлиуса Нойброннера [11]
Fig. 4. «Pigeon camera» by Julius Neubronner

На этапе ранних экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры было получено первое изображение, созданы первые портативные камеры, предложены способы их крепления к носителям – воздушным шарам и змеям, ракетам, птицам (табл. 1).

В этот период различали четыре основные категории аэрофотосъемки с воздушных шаров: художественная, геодезическая, военная и исследовательская, включая научные наблюдения. Несмотря на значительную и зачастую опасную деятельность фотографов, связанную с воздухоплаванием, высотная аэрофотосъемка с немогущих летательных аппаратов оказалась в основном экспериментальной и непрактичной до появления более устойчивых воздушных платформ (жестких дирижаблей и самолетов) и более совершенной фотографической техники.

II этап. 1909-1945 годы – активные разработки, съемка с самолетов, применение аэрофотосъемки в военных целях

Период до 1945 год был временем технического совершенствования и экспериментов, поскольку фотография стала применяться в более широких сферах жизни.

Впервые аэрофотосъемка с самолета была сдела-

на в 1908 году американцем Уилбуром Райтом (1867-1912). В 1909 году появился немой фильм длительностью 3 минуты 28 секунд «Wilbur Wright und seine Flugmaschine» («Уилбур Райт и его летающая машина») с документальными кадрами 24 апреля 1909 года на аэродроме около Рима, запечатлевшие подготовку к полету и сам полет в доказательство того, что летающий самолет – это не обман.

В России в 1910 году первые опытные фотосъемки с самолета были выполнены пилотами Севастопольской офицерской школы авиации. В этом же году Сергей Алексеевич Ульянин (1871-1921) разработал первый для России фотоаппарат, устанавливаемый на борт самолета, и опубликовал брошюру «О стереофотограмметрии».

В 1911 году в России прошли испытания первого в мире пленочного полуавтоматического аэрофотоаппарата (рис. 5). Автор этого изобретения, созданный специально для съемки с самолета, военный инженер полковник Владимир Филиппович Потте. Аппарат состоял из деревянного корпуса, в котором размещалась камера и объектив с фокусным расстоянием 210 мм и диафрагмой 1:4,5. Заводной механизм активировал затвор камеры с помощью резиновой груши. Камера могла совершать 50 последовательных снимков размером 13×18 см на перематываемую пленку. Фотографии были достаточно высокого качества для составления точных топографических карт [12]. Аэрофотоаппарат применялся в ВВС с 1913 до 1930 года и позже был заменен автоматическим аналогом – камерой «АФА-ИМ».

К апрелю 1917 года 198 русских самолетов были оснащены фотоаппаратом В.Ф. Потте, 77 самолетов – камерами конструкции С.А. Ульянина и 114 – камерами других типов. Российские военные сделали около 1,5 миллиона аэрофотоснимков. После 1917 года аэрофотосъемка продолжала развиваться быстрыми темпами в России и Советском Союзе [13].

В Первую мировую войну (1914-1918) фотография широко использовалась как средство документирования военных действий. Развитие аэрофотосъемки позволило по-новому увидеть и оценить тактику боя,

Основные изобретения в I период развития аэрофотоаппаратуры KEY INNOVATIONS DURING THE INITIAL STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT		
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1858	Первая аэрофотография с привязного воздушного шара First aerial photograph taken from a tethered hot-air balloon	Гаспар-Феликс Турнашон, Надар Gaspard-Félix Tournachon, Nadar
1882	Съемка с воздушных змеев Kite aerial photography	Эдмунд Дуглас Арчибалд Edmund Douglas Archibald.
1886	Аэрофотосъемка специализированным фотоаппаратом Aerial photography using a specialised camera	Вячеслав Измайлович Срезневский Vyacheslav Izmailovich Sreznevsky
1897	Установка камеры на ракету Mounting a camera aboard the rocket	Альфред Нобель Alfred Nobel
1908	Патент на камеру для голубей A patent for a pigeon camera	Юлиус Густав Нойброннер Julius Gustav Neubronner

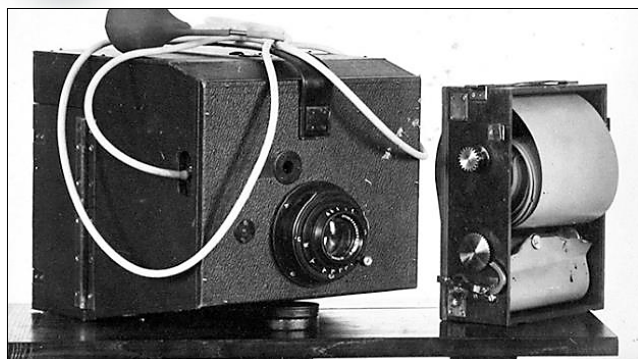


Рис. 5. Пленочный полуавтоматический аэрофотоаппарат В.Ф. Потте [Абрамов Г. Этапы развития отечественного фотоаппаратостроения. <http://www.photohistory.ru/index.php?pid=1531549784878758>]

Fig. 5. V.F. Potte's semi-automatic aerial film camera (Abramov G. *Etapy razvitiya otechestvennogo fotoapparatostroeniya* [Stages of domestic camera manufacturing development] <http://www.photohistory.ru/index.php?pid=1531549784878758>)

а также продвинуться в области картографии.

В 1915 г. капитан Джон Теодор Катберт Мур-Брабазон (1884-1964) при содействии компании *Thornton-Picard* изобрел первый специализированный аэрофотоаппарат, значительно расширивший возможности аэрофотосъемки. Пилот мог периодически включать камеру, которая была встроена в днище самолета. Мур-Брабазон также первым применил в аэрофотосъемке стереоскопическую технологию, позволяющую определять высоту объектов на местности путем сравнения фотографий, сделанных с разных ракурсов.

Ближе к концу войны американский бизнесмен и инвестор Шерман Миллс Фэйрчайлд (1896-1971) разработал фотоаппарат, в котором затвор располагался внутри объектива, что значительно улучшило качество изображения.

В период мировой войны 1914-1918 годов аэрофотосъемка выделилась в отдельную узкоспециализированную отрасль фотографии. В 1919 году была основана первая коммерческая компания *Aerofilm Ltd.*, занимающаяся аэрофотосъемкой в Великобритании. С 1921 года *Aerofilm Ltd.* производила вертикальную фотосъемку для геодезических и картографических целей. В 1930-х годах ее клиентом было национальное картографическое агентство Великобритании *Ordnance Survey (OS)*. *Aerofilm Ltd.* стала пионером в области фотограмметрии.

В Канаде многие ветераны в первые послевоенные годы с помощью специальных камер проводили картирование сельскохозяйственных полей, применяя аэрофотосъемку уже для гражданских нужд.

К 1931 году Советский Союз опередил остальную Европу по площади своей территории, сфотографированной с неба. Конструктор Лев Тимофеевич Сафронов (1911-1995) создал первый советский аэрофотоаппарат для ноч-

ной съемки «НАФА-19» на базе аппарата В.Ф. Потте.

В 1925 году была основана авиационная корпорация *Fairchild Aviation Corporation* (штат Нью-Йорк) для постройки самолета, специально разработанного для точной фотосъемки с комбинированным блоком из двух синхронизированных камер с пятью 6-дюймовыми объективами в каждой и 10-дюймовым объективом. Одна фотография отображала площадь около 580 км². Одним из первых полученных государственных заказов была аэрофотосъемка в штате Нью-Мексико для изучения эрозии почвы.

С 1936 года в США была поставлена задача создать полную и систематическую аэрофотосъемку сельскохозяйственных угодий страны. Предполагалось, что эти снимки послужат основой для реализации инициатив по стимулированию развития сельского хозяйства в США в рамках программы «Новый курс», проводимой администрацией президента Франклина Рузвельта. Аэроснимки были распространены по министерству сельского хозяйства и использовались в качестве инструментов для управления сельскохозяйственными ландшафтами.

Осознавая, что успех зависит от сбора точных данных о земле, сельскохозяйственный департамент прилагал все усилия для создания «адекватных и единых стандартов» на всех уровнях производства аэрофотоснимков: полета, обработки и интерпретации. Например, обработка аэрофотоснимков практически всегда включала в себя существенную оптическую и тригонометрическую коррекцию, а также тщательную проверку масштаба на основе наземных измерений и отбора проб [14-15].

Цветная аэрофотосъемка впервые была осуществлена в 1936 году одновременно в СССР и в Канаде. Фотографии, показывающие разделение тропосферы и стратосферы и реальную кривизну Земли, были сделаны в 1936 году капитаном Армии США Альбертом Вильямом Стивенсом (1886-1979) с воздушного шара на высоте 72 000 футов (~21 945,6 м).

Во время Второй мировой войны аэрофотосъемка была обычным явлением. Аэрофотоснимки с фронта войны регулярно публиковались в газетах и журналах, часто использовались для создания кинохроники и пропаганды. Наблюдения вели с небольших быстроходных самолетов. Фотографировать можно было с большой высоты и с более высокой скоростью для лучшего сбора разведывательной информации.

Развитие самолетов-разведчиков для записи передвижения и линии обороны противника во время двух мировых войн еще более способствовало применению аэрофотографии. С огромным технологическим прогрессом в первой половине XX века аэрофотосъемка быстро стала инструментом реализации широкого круга операций, в том числе в сельскохозяйственных секторах (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ II ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ KEY INNOVATIONS DURING THE SECOND STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT		
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1908	Фотографии с пилотируемого самолета Aerial photos captured from a manned aircraft	Уилбур Райт Wilbur Wright
1911	Пленочный полуавтоматический аэрофотоаппарат Semi-automatic aerial film camera	Владимир Филиппович Потте Vladimir Filippovich Potte
1914-1918	Аэрофотосъемка как ключевой инструмент разведки во время Первой мировой войны Aerial photography becomes a key intelligence tool during World War I	Россия, Германия, Франция, Великобритания, США
1915	Первая специализированная аэрофотокамера The first specialised aerial camera	Джон Мур-Брабазон John Moore-Brabazon
1916	Первая камера с затвором внутри объектива The first camera with an internal lens shutter	Шерман Фэйрчайлд Sherman Fairchild
1921	Начало аэрофотосъемки для геодезических и картографических целей Start of aerial photography for geodetic and cartographic purposes	Компания Aerofilm Ltd.
1936	Фотография Земли с высоты более 20 км A photograph of the Earth from an altitude of more than 20 kilometers	Альберт Вильям Стивенс Albert William Stevens
1936	Аэрофотосъемка сельскохозяйственных земель страны Aerial photography of the country's agricultural lands.	Министерство сельского хозяйства США US Department of Agriculture (USDA)
1939	Первые цветные аэрофотоснимки The first colour aerial photographs	СССР, Канада USSR, Canada
1939-1945	Аэрофотосъемка для военных целей. Разработки и усовершенствования камер Aerial photography for military use. Camera developments and improvements	СССР, Германия, Франция, Великобритания, США USSR, Germany, France, Great Britain, USA

III этап. 1946-1979 годы – становление дистанционного зондирования Земли, получение спутниковых изображений

После войны возобновился выпуск фотоаппаратов для гражданской сферы, применялся опыт и улучшались технологии, разработанные в ходе военных действий. Для создания аэрофотокарты Манхэттена использовалась серия перекрывающихся изображений. С точки зрения составления карт такие съемки оказались лучше, чем картографирование с земли, и коммерческая аэрофотосъемка быстро стала популярной.

Официально первым снимком Земли, сделанным из космоса, считается изображение, полученное 24 октября 1946 года ВВС США с высоты ~105 км над Нью-Мексико. Фотография была снята 35-миллиметровой кинокамерой, прикрепленной к ракете «Фау-2».

К концу 1950-х годов цветная аэрофотосъемка распространилась при решении научных и хозяйственных вопросов: общегеографического изучения Земли; геологического картирования территорий; лесоустройства хвойно-лиственных насаждений; учета древостоев, пораженных промышленными выбросами или насекомыми-вредителями; создания почвенных карт сельскохозяйственных земель; обследования посевов; изучения континентального шельфа [16].

Развитие спутникового дистанционного зондирования началось с гонки за освоение космоса 1950-1960 годов. В 1957 году Советский Союз запустил первый в мире искусственный спутник Земли «Спутник-1» [17]. В США в 1960 году успешно стартовал спутник «Explorer 1». Следующие десятилетия привели к бы-

строму развитию спутников и технологий обработки изображений.

Первый в мире образец аналитического фотограмметрического прибора *AP-1 (analytical plotter)*, созданный фирмами *OMI (Италия)* и *Bendix (США)*, был продемонстрирован в 1960 г. Конструктивно прибор состоял из измерительного блока, в качестве которого использовали стереокомпаратор, и электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Программное обеспечение составил Ууно Вилхо Хелава (1923-1994) канадский разработчик и пионер международного картографирования с помощью аэрофотосъемки. Это ознаменовало начало перехода фотограмметрии на использование компьютерной техники.

Термин «дистанционное зондирование» появился в начале 1960-х годов, когда американский географ Эвелин Прюитт (1918-2000) осознала, что аэрофотосъемка больше не является адекватным термином для описания потоков данных, генерируемых новыми технологиями.

В 1972 году США запустили первый спутник дистанционного зондирования Земли «*Landsat-1*». С помощью полученных от него данных решались задачи сельского хозяйства, геологии, гидрологии, океанологии и картографии; проводился мониторинг и контроль лесных, минеральных и водных ресурсов; оценивалось загрязнение окружающей среды, прогнозировались метеорологические явления. Спутник был оснащен трехкамерным видиконом с возвращаемым лучом для получения фотографических изображений Земли в видимом и коротковолновом ин-

Таблица 3		Table 3	
ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ III ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ KEY INNOVATIONS DURING THE THIRD STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT			
Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor	
1946	Первая фотография Земли, сделанная из космоса The first photograph of Earth taken from space	BBC США US Air Force	
1950-е 1950s	Развитие спутникового дистанционного зондирования Development of satellite remote sensing	СССР, США USSR, USA	
1959	Первый искусственных спутник Земли «Спутник-1» The first artificial earth satellite Sputnik-1	СССР USSR	
1960	Первый в мире образец аналитического фотограмметрического прибора The world's first prototype of an analytical photogrammetric instrument	ОМИ (Италия), Bendix (США), Уно Вилхо Хелава OMI (Italy), Bendix (USA) and Uno Vilho Helava	
1960-е 1960s	Введение термина «Дистанционное зондирование» Introduction of the term «Remote Sensing»	Эвелин Лорд Приюитт Evelyn Lord Pruitt	
1972	Первый спутник для дистанционного зондирования Земли «Landsat-1» The first earth remote sensing satellite Landsat-1	США USA	
1970-е 1970s	Коммерческое использование данных аэрофотосъемки Commercial use of aerial survey data	Италия, Франция, СССР, США, Канада, Великобритания Italy, France, USSR, USA, Canada, UK	

фракрасном излучении, а также четырехканальный мультиспектральный сканер для получения радиометрических изображений Земли. В 1970-е годы полученные со спутника данные использовались по всему миру в коммерческих и научно-исследовательских целях, в том числе в США, Канаде, Великобритании, Италии, Франции, СССР.

Развитие космических технологий во второй половине XX века способствовало интенсивной разработке аппаратуры для аэросъемки и их носителей (табл. 3). Цветное фотографирование стало новым средством изучения поверхности Земли и происходящих на ней явлений. Съемка проводилась на различных высотах, от нескольких метров (малогабаритные самолеты и вертолеты) до изображений, полученных с искусственных спутников Земли.

Значительные изменения в технологиях производства аппаратуры для аэрофотосъемки начались с созданием и развитием цифровых камер. Первый экспериментальный образец такой камеры был разработан в 1975 году инженером компании *Eastman Kodak* Стивеном Сассоном (род. 1950). Этот прототип считается не первой камерой, производившей цифровые изображения, а первой ручной цифровой камерой (рис. 6).

Камера весила 3,6 кг, в ней использовалась специализированная аналоговая микросхема (CCD) с разрешением 100×100 пикселей (0,01 мегапикселя). Изображения записывались в цифровом виде на кассету, процесс записи каждого изображения занимал 23 секунды.

IV этап. С 1980 года по настоящее время – развитие цифрового аэрофотоаппарата, применение беспилотных технологий

В 1980-е годы компании по всему миру начали разрабатывать зеркальные коммерческие цифровые камеры. Этому способствовали параллельные техноло-



Рис. 6. Оригинальный прототип цифровой камеры Стивена Сассона [Дом Джорджа Истмана <https://www.eastman.org/>]
Fig. 6. The original prototype of Stephen Sasson's digital camera [George Eastman Museum. <https://www.eastman.org/>]

гические разработки *Sony Mavica* (1981 год), *Nikon QV-1000C* (1988 год), *FUJIX DS-X* (1989 год). В первых цифровых камерах хранение изображений было сложной задачей. Цифровые хранилища только зарождались, а имеющиеся на тот момент решения (зачастую магнитная лента) вмещали максимум 25-50 изображений, после чего их приходилось выгружать. Это сильно ограничило применение цифровых камер как профессиональных инструментов.

Была и другая проблема – отсутствие единых требований и методов кодирования полученных изображений. Деятельность Объединенной группы экспертов по фотографии (комитет) была сосредоточена на фактическом файле цифрового изображения и разработке новых методов кодирования, которые позволяют хранить изображения практически без потери качества. Группа завершила свои исследования в конце 1980-х годов, и в 1992 году был официально выпу-

щен новый стандарт сжатия изображений *.jpeg*. Данный формат активно используется в настоящее время.

С 1980-х годов начали появляться беспилотные воздушные суда (БВС) в их современном виде. Израильские инженеры под руководством Абрахама Карема (род. 1937) разработали модель «Альбатрос», оснащенную видеокамерами наблюдения. Вскоре и США представили собственные модели БВС [18].

В 1980-1990-е годы начали разрабатывать радиоуправляемые вертолеты с камерами, стабилизированными гироскопом. Миниатюрные транспортные средства оказались полезными для решения задач, когда эксплуатировать полноразмерный самолет было опасно или нецелесообразно, например, при низкоскоростных полетах над сельскохозяйственными полями. К первым таким аппаратам относится радиоуправляемый вертолет *Nitrohawk*, разработанный Робертом Шенноном с 1988 по 1998 год. Видеосъемка с интеграцией видеопередачи изображения расширила использование радиоуправляемых вертолетов в качестве надежного инструмента аэрофотосъемки.

В 1990-е годы завершился переход на компьютерные технологии и цифровую обработку снимков, полученных различными системами. Компьютер с программным пакетом полной обработки снимков стал цифровой фотограмметрической системой. Появился термин «цифровая фотограмметрия» и новые виды картографических документов – цифровая карта и цифровая модель местности, построенные на основе фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки. Был создан высокоточный фотограмметрический сканер, преобразующий в цифровую форму фотоснимки с сохранением их геометрических, фотометрических и точностных характеристик. Фотокамеры уступают место цифровым фотоаппаратам, позволяющим вводить снимки в компьютер без использования сканера.

До середины 1990-х годов единственной доступной микросхемой была *CCD*, имеющая большой динамический диапазон и низкий уровень шума. Команда под руководством профессора Эрика Фоссума (род. 1957) из лаборатории реактивного движения НАСА усовершенствовала технологию, изобретенную в 1960-х годах Шерманом Фэйрчайлдом, и разработала в 1990-е годы новую микросхему *CMOS* (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник). Новая микросхема с низким энергопотреблением позволила уменьшить вес камер.

В 2004 году была представлена экшен-камера компании *GoPro*. Малый вес, прочный корпус и возможность качественной съемки в движении делали ее идеальной для установки на БВС малого размера. В январе 2013 года компания *DJI* выпускает первый коммерческий дрон *DJI Phantom 1*. Камера *GoPro* устанавливалась с помощью специального крепления. В октябре того же года был выпущен дрон *DJI Phantom 2*

Vision, оснащенный встроенной камерой высокого разрешения (14 Мп). Изображение с камеры передавалось на мобильный телефон, подключенный к пульта управления. В ноябре 2016 года был представлен БВС *DJI Phantom 4 Pro*, имеющий камеру с матрицей *CMOS 1"*, разрешением 20 Мп и механическим затвором. Камера с механическим затвором позволяет уменьшить дисторсию и смазанность изображений по сравнению с электронным затвором при аэрофотосъемке. *DJI Phantom 4 Pro* используется для аэрофотосъемки, в том числе в сельском хозяйстве.

В 2010-х годах началось производство мультиспектральных камер для БВС. Наиболее распространены в агросекторе мультиспектральные камеры *Parrot Sequoia*, *RedEdge-MX*, выпущенные в 2016 году, и *MicaSense Altum* (выпуска 2018 года). В камерах предусмотрены датчик освещенности, встроенный *GPS* модуль и отдельные камеры для каждого из спектральных каналов. К новым разработкам относится добавление панхроматического канала, например в камерах *RedEdge-P* и *Altum-PT*, для увеличения пространственного разрешения растрового изображения спектрального канала. Одновременная установка нескольких камер на БВС позволяет собирать *RGB* и мультиспектральные изображения за один полет [19].

В настоящее время проводятся разработки в данной области. Сотрудниками Федерального научного агроинженерного центра ВИМ разработано платформенное решение на базе БВС *DJI Phantom 4 Pro* мультиспектральной камеры *Parrot Sequoia* и подвеса для ее крепления, получен патент *RU 2728846 C1* (рис. 7) [20].



Рис. 7. Платформа на базе БВС, разработанная сотрудниками ФНАЦ ВИМ

Fig. 7. UAV-based platform developed by FSAC VIM employees

К 1980-м годам и на рубеже тысячелетий достижения в области камер, их миниатюризация и другие технологии увеличили доступность и широкое использование аэрофотосъемки (табл. 4). Одним из наиболее значительных достижений в технологии беспилотных камер стала разработка подвесных систем

Таблица 4

Table 4

ОСНОВНЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ IV ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ
KEY INNOVATIONS DURING THE FOURTH STAGE OF AERIAL PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT DEVELOPMENT

Год / Year	Разработка / Engineering	Изобретатель / Inventor
1981	Первая коммерческая цифровая камера The first commercially available digital camera	Sony Mavica
1980-1990-е 1980-1990s	Активное развитие цифровых камер Active development of digital cameras	Sony, Nikon, FUJIX
1980-е 1980s	БВС самолетного типа «Альбатрос» со встроенной камерой «Albatross» aircraft-type UAV with an integrated camera	Абрахам Карем Abraham Karem
1988-1998	Установка гироскопа для стабилизации камер во время полета БВС Installation of a gyroscope to stabilise the cameras during the UAV flight	Роберт Шеннон Robert Shannon
1992	Стандарт сжатия изображений JPEG JPEG image compression standard	Объединенная группа экспертов по фотографии Joint Photographic Experts Group
1990-е 1990s	Разработка матрицы CMOS CMOS sensor development	Эрик Фоссум Eric Fossum
2000-е 2000s	Интенсивное развитие беспилотных технологий Intensive development of unmanned technologies	GoPro, DJI, Parrot, 3D Robotics, Micasense

стабилизации. Эти системы обеспечивают плавную и стабильную съемку даже в ветреную погоду или во время маневров на высокой скорости.

Дальнейшее развитие аэрофотоаппаратуры будет зависеть от инноваций и разработок в других областях. Рассмотрим три возможные тенденции развития аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве в ближайшие десять лет: повышение качества изображений, развитие гибридных камер высокого разрешения и внедрение технологий искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени.

Использование миниатюрных камер с разрешением 60-70 Мп и качеством изображений 8-10К позволит создавать цифровые карты высокого пространственного разрешения на местности <1 см/пикс при высоте полета 100-150 м. Увеличение высоты полета и расстояния между смежными пролетами увеличит производительность БВС до 150 га за один вылет. Разработки в этом направлении ведутся компанией DJI, в 2020 году была представлена камера DJI Zenmuse P1, имеющая механический затвор, разрешение 45 Мп и качество изображений 8К.

Развитие гибридных цифровых камер началось в 2010-х годах. Например, мультиспектральная камера Parrot Sequoia, имеющая RGB и четыре монохромные камеры с электронным затвором и низким разрешением. Для получения данных высокого разрешения необходимо совершать полеты на высоте 30-40 м, что значительно снижает производительность БВС. Компания DJI в 2020 году выпустила камеру DJI Zenmuse H20, оснащенную двумя RGB-камерами высокого разрешения (широкоугольную и с цифровым зумом) и лазерным дальнометром. При этом камеры, имеющей комбинацию RGB и мультиспектральной камеры высокого разрешения, на рынке не существует. Использование подобной камеры позволит снизить массу полезной нагрузки и необходимость установки двух и более камер на борт БВС одновременно.

Технологии искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени являются перспективой, которая будет способствовать выявлению стресса, заболеваний у растений, недостатка азота в листьях или различий между сортами сельскохозяйственных культур во время полета БВС. Частично технология реализована компанией DJI в аппаратах Phantom 4 Multispectral или Mavic 3 Multispectral со встроенными мультиспектральными камерами. Оператор может видеть вегетационную карту NDVI в режиме реального времени. При этом отсутствует возможность расчета других вегетационных индексов или выделения проблемных областей, а полученные мультиспектральные и RGB-изображения низкого пространственного разрешения. Развитие технологий искусственного интеллекта также ограничивается размерами микрокомпьютеров и скоростью записи и передачи данных.

Выводы. Проведенный ретроспективный анализ создания и применения аппаратуры для аэрофото съемки сельскохозяйственных земель показывает, что отрасль развивалась скачкообразно. Развитие было связано с политической, социальной, экономической ситуацией в мире, уровнем технологий в смежных областях. В ранний период (1885-1908) исследования и разработки проводили любители воздухоплавания и фотографы. Предпринимались первые попытки использовать аэрофотоснимки как источник информации о состоянии городов и сельскохозяйственных угодий. Во второй период (1909-1945) на активное развитие технологий для создания аэрофотоаппаратов и проведение аэрофотосъемки влияли военно-политические факторы, в том числе две мировые войны, этому направлению уже уделялось внимание высших государственных структур. Третий период (1946-1979) характеризуется развитием технологий по всему миру, осознанием необходимости использования данных аэрофотосъемки для оценки и мониторинга сель-

скохозайственных полей. Для четвертого периода (с 1980 по настоящее время) характерно использование цифровых аэрофотоаппаратов высокого разрешения, установленных на различные носители от БВС до искусственных спутников Земли.

Дальнейшее развитие аэрофотоаппаратуры в сельском хозяйстве на ближайшее десятилетие возможно в следующих направлениях: повышение качества получаемых изображений, развитие гибридных камер

высокого разрешения и внедрение технологий искусственного интеллекта при анализе изображений в режиме реального времени. Совершенствование аэрофотоаппаратуры будет способствовать увеличению производительности БВС, снижению стоимости съемки гектара сельскохозяйственных полей и стремительному распространению технологии цифрового дистанционного зондирования в аграрной сфере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костомахин М.Н., Курбанов Р.К., Кынев Н.Г. Точное земледелие расширяет свои границы // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. №3. С. 7-9
2. Личман Г.И., Коротченя В.М., Смирнов И.Г., Курбанов Р.К. Концепция точного земледелия на основе понятий идеального поля и цифрового двойника // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. №3(40). С. 81-86.
3. Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Курбанов Р.К., Краснобородько В.В. Основные требования к беспилотным летательным аппаратам для внесения удобрений и пестицидов // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. № 4(33). С. 107-112.
4. Личман Г.И., Курбанов Р.К., Беленков А.И. Интернет вещей в сельском хозяйстве // *Нивы России*. 2019. №5(171). С. 48-56.
5. 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 (окончание) // *Техника и оборудование для села*. 2022. №4(298). С. 2-6.
6. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. №3(36). С. 40-45
7. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. №3(47). С. 117-123.
8. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. №15(4). С. 6-10.
9. Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Захарова О.М., Горшков Д.М. Оценка перезимовки всходов селекционной озимой пшеницы с помощью БПЛА // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. №3(32). С. 133-139.
10. Кусов В.С. История аэрофотосъемки в фотографиях: славянский вклад // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1992. №6. С. 54-61.
11. Degiorgis N., Salomon A. The pigeon photographer. USA. RORHOF. 2018. 96 с.
12. Краснопевцев Б.В. Основные события истории фотограмметрии и воздушной съемки до 1918 года // *Геодезия и картография*. 1998. №8. С. 55-59.
13. Салемгараева Л.Р. История развития аэрофотосъемки в России // *Актуальные проблемы геодезии, картографии, геоинформатики и кадастра*. 2016. С. 170-172.
14. Weems J. Interpreting a 1930s aerial survey photograph: the artfulness of technological images. *History and Technology*. 2011. 27. 2. 223-231.
15. Monmonier M. Aerial Photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. №68(12). 1257-1261.
16. Гольдман Л.М. Применение цветной аэросъемки для изучения местности (дешифрирование цветных аэроснимков) // *Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии*. 1960. 137. С. 57-63.
17. Бычкова И.А. История развития аэрометодов в России в 1880-1950-х годах // *Метеорологический вестник*. 2010. Т. 3. №1. С. 54-68.
18. Буянов М.С., Фискевич А.С., Федорченко А.А., Гаранин С.А. История создания и развития беспилотных летательных аппаратов // *Специальная техника и технологии транспорта*. 2022. №14. С. 13-25.
19. Курбанов Р.К., Захарова О.М. Рекомендации по предполетной подготовке БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. №1(38). С. 93-98.
20. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Rostov-on-Don, 2020. 012062.

REFERENCES

1. Kostomakhin M.N., Kurbanov R.K., Kynev N.G. Tochnoe zemledelie rasshiryayet svoi granitsy [Technical support for modernization of AIC]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2018. №3. 7-9 (In Russian).
2. Lichman G.I., Korotchenya V.M., Smirnov I.G., Kurbanov R.K. Kontsepsiya tochnogo zemledeliya na osnove ponyatiy ideal'nogo polya i tsifrovogo dvoynika [A concept of precision farming based on the notions of the ideal field and digital twin]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. №3(40). 81-86 (In Russian).
3. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kurbanov R.K., Krasnoborod'ko V.V. Osnovnye trebovaniya k bespilotnym letatel'nym

- apparatum dlya vneseniya udobreniy i pestitsidov [Basic requirements for unmanned aerial vehicles for fertilizer and pesticides]. *Vestnik VIESH*. 2018. N 4(33). 107-112 (In Russian).
4. Lichman G.I., Kurbanov R.K., Belenkov A.I. Internet veshchey v sel'skom khozyaystve [Internet of things in agriculture]. *Nivy Rossii*. 2019. N5(171). 48-56 (In Russian).
 5. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogonov Yu.Kh. Rezul'taty nauchnykh issledovaniy agroinzhenernykh nauchnykh organizatsiy po razvitiyu tsifrovyykh sistem v sel'skom khozyaystve (okonchanie) [The results of scientific research of agro-engineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2022. N4(298). 2-6 (In Russian).
 6. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistema tekhnologii i mashin [Digitization aspects of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 7. Tsench Yu.S., Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [To the history of agricultural machinery development]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N3(47). 117-123 (In Russian).
 8. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannyye tekhnicheskyye sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. N15(4). 6-10.
 9. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Gorshkov D.M. Otsenka perezimovki vskhodov selektsionnoy ozimoy pshe-nitsy s pomoshch'yu BPLA [Assessment of seedlings breeding winter wheat after overwintering using UAVs]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N3(32). 133-139 (In Russian).
 10. Kusov V.S. Istoriya aerofotosemki v fotografyakh: slavyanskiy vklad [History of aerial photography in photographs: Slavic contribution]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*. 1992. N6. 54-61 (In Russian).
 11. Degiorgis N., Salomon A. The pigeon photographer. USA. RORHOF. 2018. 96 (In English).
 12. Krasnopevtsev B.V. Osnovnyye sobyitiya istorii fotogrammetrii i vozduшной semki do 1918 goda [Milestones in the history of photogrammetry and aerial photography before 1918]. *Geodeziya i kartografiya*. 1998. N8. 55-59 (In Russian).
 13. Salemgaraeva L.R. Istoriya razvitiya aerofotosemki v Rossii [History of aerial photography development in Russia]. *Aktual'nyye problemy geodezii, kartografii, geoinformatiki i kadastra*. 2016. 170-172 (In Russian).
 14. Weems J. Interpreting a 1930s aerial survey photograph: the artfulness of technological images. *History and Technology*. 2011. 27. 2. 223-231 (In English).
 15. Monmonier M. Aerial Photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. N68(12). 1257-1261 (In English).
 16. Gol'dman L.M. Primenenie tsvetnoy arosemki dlya izucheniya mestnosti (deshifrirovaniye tsvetnykh aerosnimkov) [Utilizing color aerial photography for terrain analysis (color photograph interpretation)]. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geodezii, arosemki i kartografii*. 1960. 137. 57-63 (In Russian).
 17. Bychkova I.A. Istoriya razvitiya aerometodov v Rossii v 1880-1950-kh godakh [History of aerial method development in Russia in the 1880-1950s]. *Meteorologicheskyy vestnik*. 2010. Vol. 3. N1. 54-68 (In Russian).
 18. Buyanov M.S., Fiskevich A.S., Fedorchenko A.A., Gararin S.A. Istoriya sozdaniya i razvitiya bespilotnykh letatel'nykh apparatov [The history of the creation and development of unmanned aerial vehicles]. *Spetsial'naya tekhnika i tekhnologii transporta*. 2022. N14. 13-25 (In Russian).
 19. Kurbanov R.K., Zakharova O.M. Rekomendatsii po predpoletnoy podgotovke BPLA [Recommendations for UAV pre-flight preparation]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. N1(38). 93-98 (In Russian).
 20. Kurbanov R., Litvinov M. Development of a gimbal for the Parrot Sequoia multispectral camera for the UAV DJI Phantom 4 Pro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Rostov-on-Don, 2020. 012062 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – научное руководство, формирование задач исследования;

Захарова Н.И. – сбор и анализ материалов по теме исследования, подготовка статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – scientific guidance, formation of research tasks; Zakharova N.I. – collection and analysis of materials on the research topic, manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

07.07.2023

18.08.2023

Обоснование конструктивно-технологических параметров модуля мультивентиляторного опрыскивателя

Леонид Анатольевич Марченко,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: marchenko1312@mail.ru;

Игорь Геннадьевич Смирнов,
доктор технических наук,
заведующий отделом,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;
Артем Юрьевич Спиридонов,
младший научный сотрудник,
e-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация.

Реферат. В настоящее время для точного садоводства перспективны роботизированные универсальные платформы, оснащаемые модульными мультивентиляторными опрыскивателями, включающими 4-6 вентиляторов и работающими в точном садоводстве. С появлением новых технологий меняются и требования к вентиляционным системам опрыскивания. (*Цель исследования*) Обосновать конструктивно-технологические параметры модуля мультивентиляторного опрыскивателя. (*Материалы и методы*) Провели исследования, опираясь на основные уравнения сохранения энергии и массы в прикладной газовой динамике: уравнение Бернулли, уравнение неразрывности потока. Использовали методику оценки распределения давлений в воздуховоде вентиляторов и аналитические выражения расчета газовой струи, а также стандарты для установления универсальных параметров и размеров вентиляторов и распылителей жидкости. (*Результаты и обсуждение*) Теоретически рассчитали основные параметры: расход воздуха для покрытия заданного объема кроны – 11,28 метра кубического в секунду; расход воздуха одним вентилятором – 1,88 метра кубического в секунду; скорость потока воздуха при выходе из вентилятора – 17,9 метра в секунду; полное давление, развиваемое вентилятором – 192,25 паскаля; мощность, необходимая для привода одного вентилятора – 0,170 киловатта; установочная мощность двигателя вентилятора – 0,204 киловатта; длину начального участка струи – 1,53 метров; осевую скорость струи – 13,6 метра в секунду, расход воздуха – 12,84 метра кубического в секунду, диаметр круглой струи 1,58 метра. (*Выводы*) Обосновали технологическую схему мультивентиляторного опрыскивателя. Предложили расчетные уравнения, устанавливающие характер распределения статического, динамического и полного давления в различных сечениях вентилятора опрыскивателя. Представили алгоритм расчета параметров модуля опрыскивателя. Установили для конкретных условий численные значения параметров модуля мультивентиляторного опрыскивателя.

Ключевые слова: мультивентиляторный опрыскиватель, аэродинамические характеристики, расчетные уравнения, обоснование, параметры.

■ **Для цитирования:** Марченко Л.А., Смирнов И.Г., Спиридонов А.Ю. Обоснование конструктивно-технологических параметров модуля мультивентиляторного опрыскивателя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-27-33. EDN VYWLOC.

Substantiation of the Design and Technological Parameters of a Multi-fan Sprayer Module

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

Igor' G. Smirnov,
Dr.Sc.(Eng.), head of department,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;
Artem Yu. Spiridonov,
junior researcher,
e-mail:artyom-spiridonov@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Currently, precision gardening necessitates the use of robotic universal platforms featuring modular multi-fan sprayers, typically equipped with 4-6 fans. As new technologies emerge, the demands placed on spraying ventilation systems are also evolving. (*Research purpose*) The objective of this research is to establish the design and technological specifications of the multi-

fan sprayer module. (*Materials and methods*) The research is grounded on fundamental equations of energy and mass conservation in the field of applied gas dynamics, specifically the Bernoulli equation and the flow continuity equation. To analyze the pressure distribution within the fan duct and calculate the gas jet, a specific methodology was employed in this research. Additionally, the research utilizes analytical expressions and industry standards to determine universal parameters and dimensions of fans and liquid atomizers. (*Results and discussion*) Theoretical calculations were performed to determine the main parameters. The results are as follows: the air consumption required to cover a given crown volume is 11.28 cubic meters per second; the air consumption by one fan is 1.88 cubic meters per second; the air flow rate at the fan outlet reaches 17.9 meters per second; pressure generated by the fan is 192.25 pascals; power required to drive one fan is 0.170 kilowatts; the installed power of the fan motor is 0.204 kilowatts; the jet initial section length is 1.53 meters; the axial jet velocity is 13.6 meters per second; the air consumption is 12.84 cubic meters per second; the round jet diameter is 1.58 meters. (*Conclusions*) The technological scheme of a multi-fan sprayer has been developed and justified. Calculation equations have been proposed to determine the distribution of static, dynamic, and total pressure in different sections of the sprayer fan. An algorithm for calculating the parameters of the sprayer module has been presented. The numerical values of the parameters for the multi-fan sprayer module have been determined for specific operating conditions.

Keywords: multi-fan sprayer, aerodynamic characteristics, calculation equations, substantiation, parameters.

■ **For citation:** Marchenko L.A., Smirnov I.G., Spiridonov A.Yu. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov modulya mul'tiventilyatornogo opryskivatelya [Substantiation of the design and technological parameters of a multi-fan sprayer module]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 27-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-27-33. EDN VYWLOC.

Техническое оснащение современного промышленного садоводства в России характеризуется недостаточным уровнем механизации производственных процессов в большинстве хозяйств отрасли, в частности, при обработке средствами защиты растений многолетних насаждений в питомниках, садах, на промышленных плантациях [1].

В отечественном сельскохозяйственном производстве в основном применяют моноventильторные опрыскиватели, один из недостатков которых заключается в потерях рабочей жидкости до 30-90% в зависимости от степени развития листового аппарата, другой недостаток в настоящее время – комплектующие, в частности, бортовые компьютеры, блоки распределения и подачи рабочей жидкости, насосы, распылители, гидроприводы, магистрали и другие узлы, зачастую зарубежного производства. Отечественные аналоги таких покупных изделий либо полностью отсутствуют, либо обладают неподходящими техническими характеристиками. В связи с этим необходимо развитие данного направления отрасли сельхозмашиностроения, прежде всего в плане перехода на импортозамещение и создание инновационных интеллектуальных машин для внесения средств защиты растений, в том числе роботизированных универсальных платформ [2-5]. Для таких платформ перспективны модульные мультиventильторные компьютеризованные системы опрыскивания, включающие 4-6 ventильторов по 2-3 ventильтора на одну сторону, работающие в точном садоводстве. Эти системы предполагают изменение угла наклона каждого ventильтора и регулировку их по высоте в автоматическом режиме [6-8]. Известны зарубежные технические решения мультиventильторных систем опрыскивания (например, патенты *EP 0 783 376 B1*, *US 6202941 B1*, *US 2006/0214022 A1*, опрыскиватель *Quantum Mist Smart*

Spray и другие). Из всех ventильторов, применяемых в ventильторных опрыскивателях, наибольшее распространение имеют осевые ventильторы. Система ventильторного опрыскивателя отличается от промышленной ventильционной системы, поскольку основная задача ventильторного опрыскивателя – подача воздушного потока в кроны деревьев, вытесняя при этом неподвижный воздух из объема кроны деревьев и заполняя объем осаждаемыми на абаксиальной и адаксиальной сторонах листьев диспергируемыми каплями рабочей жидкости пестицида. Преимуществом осевых ventильторов служит незначительное изменение потребляемой ими мощности на всех рабочих режимах эксплуатации [9-11].

Перечень основных аэродинамических параметров ventильторов отображен в ГОСТ 10616-2015. Описаны методы выбора ventильторов по их безразмерным типовым характеристикам [12]. Требования к ventильторам постоянно меняются в связи с появлением новых технологий. Иногда на практике заявленные в технической документации аэродинамические параметры не коррелируются с реальными. Это в полной мере относится и к ventильторным опрыскивателям.

Цель исследования – обосновать конструктивно-технологические параметры модуля мультиventильторного опрыскивателя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. При проведении исследования опирались на основные уравнения сохранения энергии и массы в прикладной газовой динамике: уравнение Бернулли, уравнение неразрывности потока. Использовали методику оценки распределения давлений в воздуховоде ventильторов и аналитические выражения расчета газовой струи [13, 14]. Руководствовались стандартами для установления универсальных параметров и размеров ventильторов и распылителей жидкости: ГОСТ 10616-2015. Ventиль-

торы радиальные и осевые. Размеры и параметры. (ISO 13351: 2009, NEQ). ГОСТ 31961-2012. Вентиляторы промышленные. Показатели эффективности. ISO 10625: 2018. Оборудование для защиты растений. Распыливающие наконечники. Цветная маркировка для идентификации.

Результаты и обсуждение. При обработке садовых насаждений вентиляторными опрыскивателями необходимо, чтобы около 65% объема рабочей жидкости инсектицида или фунгицида попадало на верхнюю половину кроны дерева, где находится больше листьев и плодов, а 35% – на нижнюю. Дифференциацию распределения потоков рабочей жидкости обеспечивает мультивентиляторный опрыскиватель, у которого в верхнем одном или двух вентиляторах устанавливается две трети всех распылителей, а в нижнем вентиляторе – одна треть от общего количества распылителей, или обеспечивается соотношение расходов за счет различного типоразмера форсунок. Технологическую схему модуля такого опрыскивателя представили на *рисунке 1*.

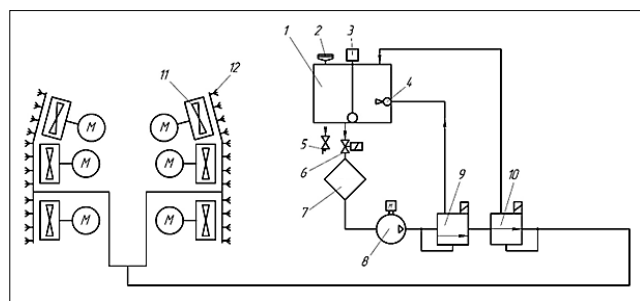


Рис. 1. Схема мультивентиляторного опрыскивателя: 1 – бак; 2 – заливная горловина; 3 – электронный уровнемер; 4 – гидромешалка; 5 – сливной кран; 6 – клапан запорный, нормально закрытый; 7 – фильтр всасывающий; 8 – насос с электроприводом; 9 – переливной электрогидравлический клапан; 10 – пропорциональный редукционный клапан; 11 – осевой вентилятор с электроприводом; 12 – форсунки для распыления рабочей жидкости

Fig. 1. Schematic diagram of a multi-fan sprayer: 1 – tank; 2 – filler neck; 3 – electronic level gauge; 4 – hydraulic mixer; 5 – drain valve; 6 – normally closed shut-off valve; 7 – suction filter; 8 – pump with electric drive; 9 – overflow electro-hydraulic valve; 10 – proportional pressure reducing valve; 11 – axial fan with electric drive; 12 – nozzles for spraying the working fluid

Общий массовый расход воздуха, прошедший через входное и выходное сечения вентилятора в единицу времени, определяет его производительность. Мощность, переданная вентилятором потоку воздуха соответствует мощности, необходимой для течения направленного потока воздуха при выходе из вентилятора. Для расчета вентилятора нужно прежде всего знать требуемый расход воздуха и величину полного давления.

Полное давление P_v , создаваемое вентилятором,

определяется как разность полных давлений непосредственно за вентилятором и перед ним и проявляется в виде статического P_s и динамического P_D давления.

Вентилятор модуля опрыскивателя работает без сети, без диффузора и без воздухопроводов. При работе вентилятора l воздух будет поступать во входное всасывающее отверстие входного направляющего аппарата 2, а выходить из выходного нагнетательного отверстия выходного направляющего аппарата 4 корпуса 3 (*рис. 2*). Вентилятор забирает воздух из окружающей среды при постоянном статическом давлении, равном барометрическому давлению (свободный вход). Из вентилятора поток воздуха поступает в окружающую среду со статическим давлением, равным барометрическому (свободный выход). Приняли, что вентилятор не имеет отводов и поворотов, конструк-

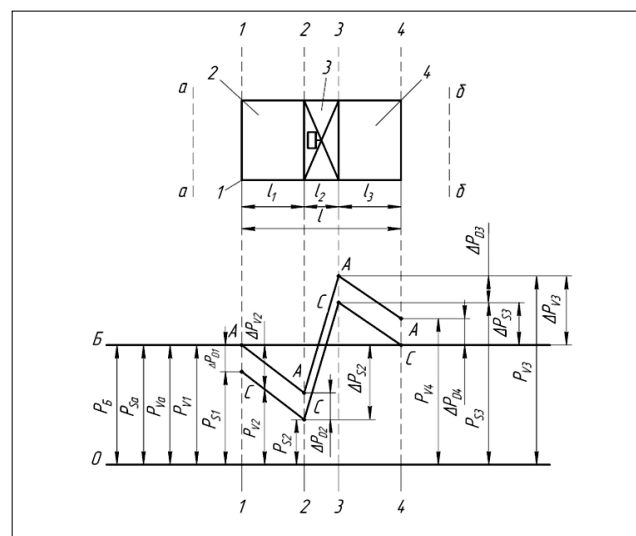


Рис. 2. Схема осевого вентилятора и энторы распределения давлений: 1 – корпус; 2 – входной направляющий аппарат; 3 – рабочее колесо; 4 – выходной направляющий аппарат; 1-1 – входное сечение; 2-2, 3-3 – сечения рабочего колеса; 4-4 – выходное сечение вентилятора; 0-0 – линия абсолютного вакуума; Б-Б – линия барометрического (атмосферного) давления; А-А – линия полного давления; С-С – линия статического давления; l – общая длина вентиляционного устройства; l_1 – длина всасывания; l_2 – длина нагнетания; P_B – барометрическое давление; P_v, P_s, P_D – полное, статическое и динамические давления, отсчитываемые от абсолютного нуля; $\Delta P_v, \Delta P_s, \Delta P_D$ – полное, статическое и динамические давления, отсчитываемые от барометрического давления

Fig. 2. Schematic diagram of an axial fan and pressure distribution curves: 1 – body; 2 – inlet guide vane; 3 – impeller; 4 – outlet guide vane; 1-1 – inlet section; 2-2, 3-3 – impeller sections; 4-4 – outlet section of the fan; 0-0 – absolute vacuum line; B-B – barometric (atmospheric) pressure line; A-A – total pressure line; C-C – static pressure line; l – total length of the ventilation device; l_1 – suction length; l_2 – injection length; P_B – barometric pressure; P_v, P_s, P_D – total, static and dynamic pressures measured from absolute zero; $\Delta P_v, \Delta P_s, \Delta P_D$ – total, static and dynamic pressures measured from barometric pressure

тивное выполнение входного и выходного отверстий исключает образование вихрей, а всасывающие и нагнетательные части имеют постоянный диаметр.

Для построения эпюр распределения давления в вентиляционном устройстве, снабженном входным и выходным направляющими аппаратами, применили методику оценки распределения давлений в воздухе с вентилятором [13].

Для определения распределения давления до вентилятора, в вентиляторе и после него построили эпюры давлений (рис. 2). Давление, которое создает движение лопастей вентилятора, невелико, и сжимаемостью воздушного потока можно пренебречь. Воздух будет поступать во входное отверстие вентилятора, когда в сечении 1-1 установится статическое давление P_S меньше барометрического P_B .

Разность давлений $P_S - P_B$ будет создавать поток воздуха со скоростью c_B . Скорость сва в сечении *a-a* равна нулю, поскольку забор воздуха в сечении *l-l* происходит из окружающей среды (сечение *a-a*) при атмосферном давлении, при этом сечение *a-a* находится на достаточно большом расстоянии от сечения *l-l*. Давления, превышающие атмосферные, откладывали вверх от линии Б-Б барометрического давления, а давления, меньше атмосферного (разрежения), вниз. Отрицательными могут быть полные и статические давления. Динамические давления всегда положительны.

Составили уравнение Бернулли для сечений *a-a* и *l-l*:

$$P_{Sa} + \rho \cdot (c_{Ba})^2/2 = P_{Sl} + \rho \cdot (c_{Bl})^2/2, \quad (1)$$

где P_{Sa} , P_{Sl} – статическое давление в сечениях *a-a* и *l-l*, Па;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

c_{Ba} , c_{Bl} – скорость потока в сечениях *a-a* и *l-l*, м/с.

Полное давление P_{Vl} в сечении *l-l* равно статическому давлению P_{Sa} в сечении *a-a* и барометрическому P_B .

Статическое давление P_{Sl} в сечении *l-l* определяется как разность между полным давлением P_{Vl} и динамическим P_{Dl} , что равно разности между барометрическим P_B и динамическим давлением P_{Dl} .

При определении давлений в сечении *l-l* от линии Б-Б барометрического давления получили:

$$-AP_{S1} = AP_{D1}; AP_{V1} = -AP_{S1} + AP_{D1} = 0.$$

Уравнение Бернулли для сечений *l-l* и *2-2*, между которыми происходит всасывание воздуха в вентиляторе, приобрело следующий вид:

$$P_{S1} + P_{D1} = P_{S2} + P_{D2} + AP_{1-2} + AP_{y1}, \quad (2)$$

где AP_{1-2} – потери давления на трение воздуха о внутреннюю кольцевую стенку вентилятора на участке между сечениями *l-l* и *2-2*, Па;

AP_{y1} – потери давления на удар при входе воздушного потока в вентилятор, Па.

Потери давления на удар при входе воздуха во входной направляющий аппарат вентилятора и на внезапное расширение потока при выходе воздуха из

вентилятора характеризуют местные сопротивления.

С учетом $-AP_{S1} = AP_{D1}$ получили следующее равенство:

$$-AP_{S2} + AP_{D2} = AP_{V2} = -AP_{1-2} - AP_{y1}. \quad (3)$$

Полное давление во всасывающем участке корпуса вентилятора равно по абсолютному значению потерям давления от входа в вентилятор до рассматриваемого сечения.

Составили уравнение Бернулли для сечений *4-4* и *б-б*:

$$P_{S4} + P_{D4} = P_{S6} + P_{D6} + P_{y4-6}, \quad (4)$$

где P_{y4-6} – потери давления на расширение потока при выходе воздуха из выходного отверстия, Па.

Потери давления P_{y4-6} рассчитываются исходя из половины квадрата скорости потока c_{B4} в сечении *4-4* с учетом плотности ρ .

При отсчете давлений от линии барометрического давления получили:

$$-AP_{S4} + AP_{D4} = AP_{S6} + AP_{D6} + \rho(c_{B4})^2/2. \quad (5)$$

Статическое AP_{S6} и динамическое AP_{D6} давление в сечении *б-б* равны нулю.

Динамическое давление в сечении *4-4*: $AP_{D4} = \rho(c_{B4})^2/2$. Статическое давление: $AP_{S4} = 0$.

Для сечений *3-3* и *4-4* уравнение Бернулли имеет вид:

$$P_{S3} + P_{D3} = P_{S4} + P_{D4} + AP_{3-4}, \quad (6)$$

где AP_{3-4} – потери давления на участке *3-4*, Па.

С учетом того, что $AP_{S4} = 0$, при отсчете от линии барометрического давления имеем:

$$AP_{S3} = AP_{D4} - AP_{D3} + AP_{3-4}. \quad (7)$$

В рассматриваемом вентиляторе площади сечений $S_{3,3}$ и $S_{4,4}$ выходного направляющего аппарата равны. В соответствии с уравнением неразрывности потока равны и скорости потоков c_{B3} и c_{B4} в этих сечениях *3-3* и *4-4* и, как следствие, равны динамические напоры $AP_{D4} = AP_{D3}$. Статическое давление AP_{S3} равно потерям давления в направляющем аппарате: $AP_{S34} = AP_{3-4}$. Полное давление AP_{V3} будет равно сумме потерь на участке выходного направляющего аппарата и потерь давления на удар при выходе потока воздуха из него.

Динамическое давление потока при выходе из вентилятора рассчитывается по величине объемной производительности Q_B , средней плотности воздуха ρ на выходе и площади нагнетательного отверстия F_B вентилятора по формуле:

$$P_D = 0,5\rho \cdot (Q_B/F_B) = 0,5\rho \cdot (c_B)^2. \quad (8)$$

Отношение Q_B/F_B определяет скорость потока c_B . Расчет мощности на валу рабочего колеса вентилятора произвели по формуле:

$$N_B = (Q_B \cdot P_V) / (3600\eta_B \cdot \eta_{лн}), \quad (9)$$



где N_B – мощность на валу рабочего колеса вентилятора, кВт;

Q_B – производительность вентилятора, м³/с;

η_B – значение КПД вентилятора;

$\eta_{п}$ – значение КПД подшипников.

Значение КПД осевого вентилятора определяется по аэродинамической характеристике, или можно принимать для осевого вентилятора $\eta_B = 0,3-0,6$; КПД подшипников принимается равным 0,95-0,98.

Установочная мощность двигателя вентилятора N_y (кВт) определяется с учетом коэффициента установочной мощности $k_s = 1,2$; для двигателей меньше 0,5 кВт – $N_y = N_B k_s$.

Расход воздуха, необходимого для покрытия воздушно-жидкостной смесью обрабатываемого дерева, определяется при прочих равных условиях исходя из объема его кроны:

$$Q_{вк} = (0,278 v/b) V_k \tag{10}$$

где $Q_{вк}$ – расход воздуха для покрытия кроны одного дерева, м³/с;

v – рабочая скорость движения опрыскивателя, км/ч;

b – расстояние между деревьями, м;

V_k – объем кроны обрабатываемого дерева, м³.

Объем кроны V_k обрабатываемого дерева в первом приближении принимается равным объему цилиндра с диаметром, равным ширине кроны, и высотой, равной высоте кроны.

В результате обобщения множества групп крон деревьев получили средние значения параметров крон садовых деревьев и средние расстояния положения деревьев в рядах (таблица).

Из таблицы следует, что наибольший объем крон как единичного дерева, так и на гектар сада наблюдается у деревьев первой группы, наибольший коэффициент рациональности (отношение продуктивного объ-

ема к общему объему кроны) имеет место у второй и третьей групп плодовых деревьев и кустарников.

Расход воздуха, проходящего через один вентилятор $Q_{в1}$ (м³/с) при известном количестве задействованных вентиляторов n_B при обработке одного дерева будет равен отношению $Q_{вк}/n_B$.

Расход рабочей жидкости пестицида зависит от установленной нормы расхода H рабочей жидкости, рабочей скорости движения опрыскивателя v , ширины ряда b , количества используемых форсунок n , устанавливаемых на вентиляторе: $q = H_{bv}$. Расход жидкости через один форсунку $q_{ф}$ (м³/с) определили по формуле гидродинамики, включающей конструктивно-технологические параметры распылителя, площадь выходного сечения сопла форсунки F_p (м²), коэффициент расхода μ , перепад давления перед форсункой ΔP (Па), плотность рабочей жидкости $\rho_{ж}$ (кг/м³):

$$q_{ф} = \mu F_p \sqrt{(2\Delta P/\rho_{ж})} \tag{11}$$

При опрыскивании в садовых насаждениях необходимый объем рабочей жидкости составляет от 300 до 1500 л/га. Рабочая скорость движения опрыскивателя при обработке садовых насаждений – 2,5-10 км/ч. Перепад давления на форсунках составляет 0,6-1,0 МПа. Форсунки выбирали в соответствии со стандартом ISO 10625: 2018. Воздушный поток обеспечивает требуемую скорость капель рабочей жидкости, диспергируемых форсунками. После обработки на листовой поверхности должно быть не менее 30 шт/см² капель действующего вещества. Допустимое отклонение от требуемой нормы внесения не более 5% для опрыскивания в саду.

Динамическое давление потока при выходе из вентилятора $P_{дв}$ (Па) рассчитывали по величине квадрата скорости c_B (м/с), средней плотности воздуха ρ (кг/м³). Вентилятор работает без воздухопроводов и диффузора, поэтому полное давление будет равно динамическому: $P_{вв} = P_{дв}$. Статическое давление $P_{св} = 0$.

Поток воздуха, выходящий из вентилятора, представляет собой свободную затопленную струю. Вследствие турбулентного перемешивания движущихся частиц воздуха с окружающим ее стационарным воздухом струя расширяется с уменьшением ее скорости, при этом в процессе турбулентного обмена происходит дополнительный захват массы воздуха струей с увеличением ее расхода. Характерной особенностью турбулентной струи служит малость поперечных составляющих скорости по сравнению с продольной скоростью, поэтому в инженерных приложениях теории струи ими можно пренебречь [15].

Для расчета струи наибольшее распространение получила теория Г.Н. Абрамовича, который вывел формулы расчета струи на основе константы a , названной коэффициентом турбулентной структуры струи.

Коэффициент турбулентной структуры a пред-

Группа крон деревьев Tree crown group	Ширина кроны, м Crown width, m	Высота кроны, м Crown height, m	Объем кроны, м ³ Single crown volume, m ³	Объем крон, м ³ /га Total crown volume, m ³ /ha	Коэффициент рациональности Rational coefficient	Расстояние между кронами соседних деревьев, м Distance between adjacent tree crowns, m	Расстояние между рядами деревьев, м Distance between rows of trees, m	Расстояние между деревьями, м Distance between trees, m
1	4,00	3,5	43,96	18388,25	0,64	2,5	6,50	6,50
2	1,63	3,1	25,87	10784,50	0,92	2,5	4,13	4,89
3	1,67	2,7	23,73	9174,44	0,94	2,0	3,67	3,67

ставляет собой общепринятый показатель динамических свойств струи, который характеризует степень турбулентности струи. Для затопленных быстрорасширяющихся струй коэффициент a равен 0,07-0,27. Чем больше коэффициент турбулентной структуры a , тем выше интенсивность перемешивания и больше угол одностороннего расширения струи α .

Коэффициент a связан с углом раскрытия струи α соотношением: $3,4a = \tan \alpha$.

Значение коэффициента турбулентной структуры струи a зависит от характеристик потока в начальном сечении струи, которые в свою очередь определяются конфигурацией насадки. В соответствии с [14] основные параметры затопленной турбулентной круглой струи характеризуются полюсным расстоянием $x_0 = 0,15d_0$ (расстояние от полюса до выходного отверстия d_0), длиной начального участка круглой струи $x_n = 0,335d_0/a$, осевой скоростью u в основном участке на расстоянии x от полюса круглой струи $u = (0,48d_0 u_0)/(a_x + 0,145d_0)$, расстоянием x с учетом b_d – расстояния между деревьями в саду и b_m – ширины машины $x = (b_d - b_m)/2$.

Расход воздуха Q_x в основном участке струи на расстоянии x от полюса струи определяли исходя из расхода воздуха Q_b в начальном сечении при выходе из вентилятора $Q_x = 4,36Q_b[(ax/d_0)+0,145]$ при известных параметрах a , x , d_0 . От этих же параметров зависят диаметр круглой струи D_c в основном участке на расстоянии x от полюса: $D_c = 6,8d_0[(ax/d_0)+0,145]$ и средняя скорость u_{cp} в основном участке струи: $u_{cp} = 0,95 u_0[(ax/d_0)+0,145]$.

Определение основных параметров модуля мультивентиляторного опрыскивателя проводили для конкретных условий: размер кроны $r = 2,0$ м, $h = 3,5$ м; ширина ряда $b = 6,5$ м; расстояние между деревьями $6,5$ м; норма расхода рабочей жидкости $H = 300$ л/га; рабочая скорость движения модуля опрыскивателя $v = 6$ км/ч; количество вентиляторов $n_b = 6$; площадь выходного отверстия одного вентилятора $F = 1,05 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2$;

плотность воздуха $\rho = \rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$; коэффициент турбулентной структуры $a = 0,08$; угол раскрытия струи $2\alpha = 30^\circ 30'$; количество форсунок 14.

В результате получили следующие параметры: объем кроны $V_d = 43,96 \text{ м}^3$; расход воздуха для покрытия заданного объема кроны $Q_{bk} = 11,28 \text{ м}^3/\text{с}$; расход воздуха одним вентилятором $Q_{bl} = 1,88 \text{ м}^3/\text{с}$; скорость потока воздуха при выходе из вентилятора $c_b = 17,9 \text{ м/с}$; полное давление, развиваемое вентилятором $P_{vb} = P_{Dvb} = 192,25 \text{ Па}$; мощность, необходимая для привода одного вентилятора, $N_b = 0,170 \text{ кВт}$; установочная мощность двигателя вентилятора $N_y = 0,204 \text{ кВт}$; полюсное расстояние $x_0 = 0,055$ м; длина начального участка струи $x_n = 1,53$ м; осевая скорость $u = 13,6 \text{ м/с}$, расход воздуха $Q_x = 12,84 \text{ м}^3/\text{с}$, диаметр круглой струи $D_c = 1,58$ м и средняя скорость в основном участке струи $u_{cp} = 1,14 \text{ м/с}$; количество распылителей $n_p = 14$, расход рабочей жидкости через один распылитель $q_p = 1,39 \text{ л/мин}$.

Выводы. Обосновали технологическую схему мультивентиляторного опрыскивателя. Получили расчетные уравнения, устанавливающие характер распределения статического, динамического и полного давления в различных сечениях вентилятора опрыскивателя. Представили алгоритм расчета параметров модуля опрыскивателя. Установили для конкретных условий численные значения расходов воздуха одним вентилятором и для покрытия заданного объема кроны; скорость потока воздуха при выходе из вентилятора; полное давление, развиваемое вентилятором; мощность, необходимую для привода одного вентилятора и установочную мощность двигателя вентилятора. Рассчитали основные параметры струи воздуха, выходящего из вентилятора: длину начального участка струи; осевую скорость; расход воздуха за начальным участком; диаметр круглой струи и среднюю скорость в основном участке. Определили общее количество форсунок и расход рабочей жидкости.

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. Т. 4. №5. С. 3-8.
- Полухин А.А. Импортзамещение на рынке сельскохозяйственной техники России // *Современная конкуренция*. 2015. Т. 9. №6(54). С.129-141.
- Li S., Chen C., Wang Y., Kang F., Li W. Study on the atomization characteristics of flat fan nozzles for pesticide application at low pressures. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 309.
- Hu Y., Chen Y., Wei W., Hu Z., Li P. Optimization design of spray cooling fan based on cfd simulation and field experiment for horticultural crops. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 566.
- Gullberg P., Löfdahl L. Fan modelling in CFD using RANS with MRF, limitations and consistency, a comparison between fans of different design. In *Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10)*. Woodhead Publishing: Cambridge, UK. 2011.423-433.
- Negi P., Subhash M. Method to control flow separation over wind turbine blade: A CFD study. *Mater. Today Proc.* 2021.
- Sureshkumar R., Kale S.R., Dhar P.L. Heat and mass transfer processes between a water spray and ambient air–II. Simulations. *Appl. Therm. Eng.* 2008. Vol. 28. 361-371.
- Sureshkumar R., Kale S.R., Dhar P.L. Heat and mass transfer processes between a water spray and ambient air–I. Experimental data. *Appl. Therm. Eng.* 2008. Vol. 28. 349-360.
- Zhang W., Yuan J., Zhou B., Li H., Yuan Y. The influence of axial-flow fan trailing edge structure on internal flow. *Adv. Mech. Eng.* 2018. Vol. 10(11). 168781401881174.
- Sethi V.P., Sharma S.K. Survey of cooling technologies for

worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol. Energy*. 2007. Vol. 81. 1447-1459.

11. Saberian A., Sajadiye S.M. Assessing the variable performance of fan-and-pad cooling in a subtropical desert greenhouse. *Appl. Therm. Eng.* 2020. Vol. 179. 115672.

12. Брусилловский И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ. М.: Недра. 1978. 198 с.

13. Вахвахов Г.Г. Работа вентилятора в сети. М.: Стройиздат. 1975. 101 с.

14. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: Наука. 1976. 623 с.

15. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Изд. 4-е. М.: Наука. 1976. 888 с.

REFERENCES

1. Kulikov I.M., Utkov Yu.A., Bychkov V.V. Tekhnicheskoe osnashchenie sovremennoy promyshlennogo sadovodstva i perspektivy ego sovershenstvovaniya [Technical equipment of modern industrial horticulture and prospects for its improvement]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010. Vol. 4. N5. 3-8 (In Russian).

2. Polukhin A.A. Importozameshchenie na rynke sel'skokhozyaystvennoy tekhniki Rossii [Import substitution in the agricultural machinery market of Russia]. *Sovremennaya konkurentsia*. 2015. Vol. 9. N6(54). 129-141 (In Russian).

3. Li S., Chen C., Wang Y., Kang F., Li W. Study on the atomization characteristics of flat fan nozzles for pesticide application at low pressures. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 309 (In English).

4. Hu Y., Chen Y., Wei W., Hu Z., Li P. Optimization design of spray cooling fan based on cfd simulation and field experiment for horticultural crops. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 566 (In English).

5. Gullberg P., Löfdahl L. Fan modelling in CFD using RANS with MRF, limitations and consistency, a comparison between fans of different design. In Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10). Woodhead Publishing: Cambridge, UK. 2011.423-433 (In English).

6. Negi P., Subhash M. Method to control flow separation over wind turbine blade: A CFD study. *Mater. Today Proc.* 2021 (In English).

7. Sureshkumar R., Kale S.R., Dhar P.L. Heat and mass transfer processes between a water spray and ambient air–II. Simulations. *Appl. Therm. Eng.* 2008. Vol. 28. 361-371 (In English).

8. Sureshkumar R., Kale S.R., Dhar P.L. Heat and mass transfer processes between a water spray and ambient air–I. Experimental data. *Appl. Therm. Eng.* 2008. Vol. 28. 349-360 (In English).

9. Zhang W., Yuan J., Zhou B., Li H., Yuan Y. The influence of axial-flow fan trailing edge structure on internal flow. *Adv. Mech. Eng.* 2018. Vol. 10(11). 168781401881174 (In English).

10. Sethi V.P., Sharma S.K. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol. Energy*. 2007. Vol. 81. 1447-1459 (In English).

11. Saberian A., Sajadiye S.M. Assessing the variable performance of fan-and-pad cooling in a subtropical desert greenhouse. *Appl. Therm. Eng.* 2020. Vol. 179. 115672 (In English).

12. Brusilovskiy I.V. Aerodinamicheskie skhemy i kharakteristiki osevykh ventilyatorov TSAGI [Aerodynamic configurations and performance characteristics of TsAGI axial fans]. М.: Nedra. 1978. 198 (In Russian).

13. Vakhvakhov G.G. Rabota ventilyatora v seti [Fan operation in the network]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 101 (In Russian).

14. Abramovich G.N. Teoriya turbulentnykh struy [Theory of turbulent jets]. Moscow: Nauka. 1976. 623 (In Russian).

15. Abramovich G.N. Prikladnaya gazovaya dinamika [Applied gas dynamics]. Izd. 4-e. Moscow: Nauka. 1976. 888 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Марченко Л.А. – разработка алгоритма аналитического расчета, обсуждение и анализ полученных результатов; подготовка текста статьи, формулирование выводов.

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

Спиридонов А.Ю – анализ априорной информации, подготовка исходных данных, выбор и обоснование основных исследуемых параметров, проведение расчетов, обсуждение и анализ полученных результатов. подготовка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Marchenko L.A. – development of an algorithm for analytical calculations, discussion, and analysis of the results; manuscript preparation, formulation of conclusions.

Smirnov I.G. – research supervision, formulation of the research problem, determination of the algorithm configuration, development of theoretical assumptions, analysis of the results, formulation of conclusions.

Spiridonov A.Yu – analysis of prior information, preparation of initial data, selection and justification of the main parameters under study, calculations, discussion, and analysis of the results; manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

04.06.2023
28.07.2023

Исследование по возделыванию трититригии в полусасушливой зоне

Юрий Федорович Лачуга¹,

академик РАН, доктор технических наук, профессор,
e-mail: lachuga.yuri@gmail.com;

Бесарион Чохоевич Месхи²,

доктор технических наук, профессор,
e-mail: reception@donstu.ru;

Виктор Иванович Пахомов^{2,3},

член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
заведующий кафедрой,

e-mail: v.i.pakhomov@mail.ru;

Юлия Александровна Семенихина³,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,

e-mail: julia1982sem@gmail.com;

Сергей Иванович Камбулов^{2,3},

доктор технических наук, профессор кафедры,
главный научный сотрудник,

e-mail: kambulov.s@mail.ru;

Дмитрий Владимирович Рудой^{2,3},

кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник

e-mail: rudoy.d@gs.donstu.ru;

Татьяна Александровна Мальцева²,

кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: tamaltseva.donstu@gmail.com

¹Российская академия наук, Москва, Российская Федерация;

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

³Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

Реферат. В Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина Российской академии наук путем многолетней селекции была выведена новая культура трититригия, представляющая собой пшенично-пырейный гибрид. Анонсированный авторами потенциал данной культуры послужил мотивацией к ее изучению. (*Цель исследования*) Провести исследования по возделыванию трититригии сорта Памяти Любимовой в полусасушливой южной зоне Ростовской области. (*Материалы и методы*) Трититригию выращивали на черноземе обыкновенном карбонатном тяжелосуглинистом в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения в соответствии с зональной технологией возделывания озимой пшеницы. Основную обработку почвы до предпосевного состояния проводили мелким способом с применением комбинированного агрегата КУМ-4. Для посева семян использовали селекционную сеялку «Деметра». В ходе испытаний с октября 2020 по август 2022 года учитывали метеорологические условия: количество осадков и температуру воздуха. На примере двух посевов изучали биометрические данные растений трититригии, элементы структуры урожая, комбайновую урожайность и засухоустойчивость. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что трититригия Памяти Любимовой по высоте растения, длине колоса, продолжительности вегетационного периода соответствует заявленным оригинаторами сорта параметрам. Тип развития растений трититригии идентичен озимой пшенице. (*Выводы*) Определили, что культура трититригии Памяти Любимовой проявляет низкую устойчивость к засухе в полусасушливом климате, урожай соломы превышает урожай зерна в 4 раза, масса 1000 зерен низкая – 23,58 грамма комбайновая урожайность (3,80 тонны на гектар) ниже чем озимой пшеницы сорта Станичная (5,09 тонны на гектар). Отметим необходимость дальнейших исследований трититригии в полусасушливом климате для выявления целесообразности ее возделывания.

Ключевые слова: трититригия, испытания, южная зона, солома, зерно, урожайность, засухоустойчивость.

■ **Для цитирования:** Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Семенихина Ю.А., Камбулов С.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А. Исследование по возделыванию трититригии в полусасушливой зоне // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 34-42. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42. EDN SWHEOO.

Investigating Trititrigia Cultivation in a Semi-Arid Zone

Yuri F. Lachuga¹,

member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), professor,

e-mail: lachuga.yuri@gmail.com;

Besarion Ch. Meskhi²,

Dr.Sc.(Eng.), professor,

e-mail: reception@donstu.ru;

Victor I. Pakhomov^{2,3},

corresponding member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), head of department,

e-mail: v.i.pakhomov@mail.ru;

Yulia A. Semenikhina³,

Ph.D.(Eng.), senior researcher,

e-mail: julia1982sem@gmail.com;

Sergey I. Kambulov^{2,3},Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;**Dmitry V. Rudoy**^{2,3},Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher,
e-mail: rudoy.d@gs.donstu.ru;**Tatyana A. Maltseva**²,

Ph.D.(Eng.), researcher,

e-mail: tamaltseva.donstu@gmail.com

¹The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;²Don State Technical University (DFSU), Rostov-on-Don, Russian Federation;³Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation

Abstract. Over the course of several years of meticulous selection, The Tsitsin Main Moscow Botanical Garden of Academy of Sciences, successfully cultivated a novel trititrigia crop, characterized as a hybrid between wheat and couch grass. The intrinsic potential of this crop, as highlighted by the authors, instigated a keen interest in its investigation. (*Research purpose*) To conduct research on the cultivation of trititrigia Pamyati Lyubimovoy (In Memory of Lyubimova) in the semi-arid southern zone of the Rostov region. (*Materials and methods*) Trititrigia was cultivated on typical chernozem soil with carbonate content, characterized by heavy loamy texture, in conditions of insufficient and unstable moisture, following the zonal technology for cultivating winter wheat. The main pre-sowing tillage was performed using a shallow method by a combined KUM-4 unit. For seed sowing, the «Demetra» selective seeder was used. Throughout the trials from October 2020 to August 2022, meteorological conditions were taken into account, including precipitation levels and air temperature. Using two crops as examples, the biometric data of trititrigia plants, yield structure elements, combine yield and drought resistance were studied. (*Results and discussion*) It is determined that trititrigia Pamyati Lyubimovoy (In Memory of Lyubimova) aligns with the declared parameters in terms of plant height, ear length, and duration of the vegetative period. The plant development type of trititrigia is identical to winter wheat. (*Conclusions*) It is established that trititrigia Pamyati Lyubimovoy (In Memory of Lyubimova) shows low resistance to drought within a semi-arid climate. Additionally, the straw yield surpasses the grain yield by a factor of four, while the weight of 1000 grains is low at 23.58 grams. Moreover, the combine yield (3.80 tons per hectares) falls short compared to the winter wheat variety Stanichnaya (5.09 tons per hectares). Further investigations into trititrigia within a semi-arid climate are considered necessary to determine its cultivation feasibility.

Keywords: trititrigia, testing, southern zone, straw, grain, yield, drought resistance.

■ For citation: Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I., Semenikhina Yu.A., Kambulov S.I., Rudoy D.V., Maltseva T.A. Issledovanie vozdeleyvaniya trititrigii v poluzasushlivoy zone [Investigating trititrigia cultivation in a semi-arid zone]. *Sel'skhozoyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 34-42 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42. EDN SWHEOO.

Зерновые колосовые культуры являются основным продовольственным и кормовым сырьем в мире. Природно-климатические условия оказывают существенное влияние на эффективность их возделывания. Периодически повторяющиеся засухи снижают урожайность зерна в среднем на 1-1,3 т/га в зависимости от сорта [1-3]. Ученые Главной геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова рассчитали индекс погодно-климатического риска для России. К шести российским регионам, где значения этого индекса максимальные, относится Ростовская область (<https://www.nvgazeta.ru/news>). Несмотря на почвенно-климатические условия, Ростовская область благоприятна для производства сельскохозяйственной продукции и занимает 2-е место в стране (данные Росстат, 2022 г.) по выращиванию зерновых (<https://www.donland.ru/activity/193>).

По данным ФАО в условиях глобального изменения климата со временем сильные засухи будут учащаться [<https://fao.org/3/i6273r/i6273r.pdf>; 4]. В связи с этим необходимо принимать меры по сохранению урожайности, в том числе за счет снижения восприимчивости

сельскохозяйственных культур к природно-климатическим воздействиям. Одним из способов может быть использование засухоустойчивых сортов зерновых колосовых культур, включая многолетние [5, 6]. Перспективным видом может служить многолетняя озимая пшеница трититригия сорта Памяти Любимовой.

Идея и первая попытка создать многолетнюю пшеницу путем скрещивания ее с пыреем принадлежат академику Николаю Васильевичу Цицину [7, 8]. Начало работы в этом направлении относится к 1920-1930 годам, впоследствии его поддержали и стали развивать ученые в Канаде, США, Германии, Китае [9-11]. Основной стратегией при получении пшенично-пырейных гибридов является межвидовая и межродовая гибридизация между культурными и дикими растениями [12-14]. В случае трититригии для этого использовали обычную однолетнюю пшеницу и ее многолетнего дикорастущего родственника пырея [15, 16]. Растение экологически пластично, устойчиво к неблагоприятным факторам среды, болезням [17-19].

Российским селекционером путем отдаленной гибридизации пшеницы с двумя видами дикорастущего

злака – пырея среднего (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) и пырея удлиненного (*Elytrigia longata* (T. elongatum) (Host) Nevski) удалось вывести принципиально новую культуру. Позже она получила свое название (*×Trititrigia cziczinii* Tsvelev) [20]. В 2020 году трититригия сорта Памяти Любимовой была внесена в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации как отдельная сельскохозяйственная культура и к выращиванию во всех регионах страны. Оригинатор и патентообладатель сорта Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (Пат. №11203 РФ: 22.07.2020).

Посредством гибридизации пшеницы с пыреем решались задачи по созданию ценных многолетних и отращающих форм злаков. В результате получен геном трититригии, представленный набором 56 хромосом (42 от пшеницы и 14 от пырея). Новое растение, по мнению селекционеров, сочетает в себе наилучшие биологические признаки от родительских видов [21, 22].

Трититригия характеризуется озимым типом развития, продуктивной высокой кустистостью и прочным стеблем, высокими показателями зимостойкости и засухоустойчивости. Вегетационный период длительный. После вызревания и уборки зерна наблюдается интенсивный рост побегов, дающих до трех укосов зеленой массы. Растение при высоте 135-150 см относительно устойчиво к полеганию. Колос цилиндрической формы, длиной 10-15 см, рыхлый, белый, безостый. Зерновка средней крупности, окрашенная, удлиненно-овальная. Обладает иммунитетом к пыльной и твердой головне. Масса 1000 зерен составляет 31-35 г. Зерно трититригии отличается высокими показателями качества (белок 18-19%, сырая клейковина 42,7-43,1% при натуре зерна 774-800 г/л) и хлебопекарной оценки (3,8-4,0 балла) [22, 23]. Растения устойчивы к бурой ржавчине, мучнистой росе, септориозу и фузариозу колоса с умеренной восприимчивостью к желтой ржавчине.

Вышеперечисленные признаки обуславливают обширный потенциал трититригии, вызывают интерес и служат основной мотивацией к изучению ее возделывания и испытанию в полужасушливом климате.

Юг Ростовской области относится к зоне рискованного земледелия с недостаточным и неустойчивым увлажнением, жарким летом и умеренно холодной зимой. В среднем за год выпадает 488,5 мм осадков, среднегодовая температура составляет около 9,7°C, гидротермический коэффициент 0,7-0,8. Продолжительность безморозного периода 180-210 дней, среднее количество суховейных дней 80-85 (<https://invest-don.com/ru/klimat>).

Из анализа отечественных научных публикаций следует, что имеющиеся данные о трититригии фрагментарны и в основном относятся к области селекции. Информация о возделывании культуры отсутствует. Для объективной агротехнологической оценки новых

видов и сортов необходимо их апробировать в конкретных почвенно-климатических условиях. Эти могут быть регламентированные экологические испытания или исследования в режиме предварительного тестирования, когда возникает вопрос у хозяйствующих субъектов о целесообразности внедрения в свое производство новой растениеводческой продукции.

Цель исследования – испытания по возделыванию трититригии сорта Памяти Любимовой в полужасушливой южной зоне Ростовской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проходили в 2020-2022 годах на опытном поле Аграрного научного центра «Донской» (г. Зерноград, N46.81240, E40.30360). Экспериментальный участок (270 м²) под посевы трититригии был размещен на территории многолетнего стационара. Трититригию выращивали в соответствии с зональной технологией возделывания озимой пшеницы.

Почву подготавливали по традиционной системе земледелия, характерной для выращивания зерновых колосовых культур, с механизированной обработкой перед посевом. Почва опытного участка представляет собой чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый (*Voronic Chernozems Pachic no WRB2014*). Содержание гумуса в почве (по Тюрину) – 3,3%, общего азота (ионометрический метод) – 28,2 мг/кг почвы; подвижного фосфора (по Кирсанову) – 19,0-24,5 мг/кг, калия (по Кирсанову) – 327-337 мг/кг почвы, pH солевой вытяжки 7,1.

Почву обрабатывали мелким способом, распространенным в Ростовской области при посеве зерновых. В полужасушливых условиях рационально выбирать для этой цели комбинированные агрегаты, которые формируют дифференцированные по структуре слои почвы, способствующие накоплению и сбережению почвенной влаги. Поэтому подготовку почвы проводили комбинированным агрегатом КУМ-4, разработанным в АНЦ «Донской» (рис. 1).

Почвообрабатывающий агрегат одновременно выполняет несколько технологических операций посредством расположенных поочередно рабочих органов: батареи сферических дисков, плоскорезущих стрельчатых лап, катков рыхлителей и мульчирующих катков. При движении агрегата диски рыхлят почву на глубину 6-7 см, измельчают растительные остатки стерни, уничтожаются сорняки, в нижележащих почвенных горизонтах закладывается сеть трещин, которые нарушают монолитность почвенного пласта. Следующие за дисками плоскорезущие лапы с шириной захвата 400 мм рыхлят почву на глубину до 14-16 см, подрезая корневую систему сорняков. Происходит облегченное рыхление нарушенного трещинами почвенного монолита, сепарация пылевидных почвенных частиц и ценных почвенных агрегатов на сформированное дно борозды. Оставшиеся крупные почвенные комки на поверхности поля измельчают-



Рис. 1. Подготовка почвы комбинированным агрегатом КУМ-4
Fig. 1. Pre-sowing tillage using the combined unit KUM-4



Рис. 2. Посев трититригии сеялкой «Деметра»
Fig. 2. Sowing triticum with the Demetra seeder

ся катками рыхлителями, формируется подуплотнение обработанного слоя. В завершении мульчирующий каток формирует уплотненное посевное ложе для семян и мульчирующий верхний слой.

Вследствие рациональной комбинации обрабатывающих операций почва подготавливается до предпосевного состояния за один проход агрегата КУМ-4 по полю. Выровненное (гладкое) дно борозды, отсепарированная почва, чередование в ней рыхлых и уплотненных слоев обеспечивают не только сохранение остаточной почвенной влаги, но и ее накопление за счет конденсации в засушливый период [25].

Посев семян проводили селекционной сеялкой «Деметра», разработанной в АНЦ «Донской» (рис. 2). Точный высев осуществляется благодаря конусным высевающим аппаратам, распределяющим порцию семян равномерно по длине рядка. Семена высевали по рекомендованной норме 4,3 млн шт/га (150 кг/га) на глубину 6-7 см, междурядье 15 см.

В 2020 году трититригию высевали 5 октября. Первые всходы появились 18-19 октября. Растения возобновили вегетацию в марте 2021 года. Вегетационный период продолжался до 4 августа 2021 года и составил 304 дня.

В 2021 году семена трититригии посеяли 24 сентября. Первые всходы появились 11-12 ноября. Задержка всхожести по сравнению с предыдущим годом была обусловлена малочисленностью осадков в сентябре-октябре. Вегетация возобновилась в марте и длилась 276 дней до 2 августа 2022 года.

В общей сложности за период вегетации растений проведены три подкормки удобрениями. Первую подкормку аммофосом в дозе 100 кг/га вносили одновременно с посевом семян, вторую и третью подкормки

аммиачной селитрой по 70 кг/га вносили в фазу всхода растений и фазу выхода растений в трубку.

На протяжении испытаний учитывали метеорологические параметры – температуру воздуха и количество осадков (рис. 3 и 4). При сложившейся метеоситуации основная часть вегетационного периода трититригии протекала в засушливых условиях.

В период наблюдений с октября 2020 по август 2021 года после посева семян в первые три месяца (октябрь-декабрь) был значительный недостаток осадков относительно среднегогодового показателя: 44,8 мм при норме 120,9 мм. Однако с января до окончания вегетации общее количество осадков, превысив норму, составило 541,3 мм. Наибольшее превышение соответствующего месячного уровня наблюдалось в марте (150%), апреле (255%), мае (115%), июне (168%) и августе (179%).

Осенью 2020 г. средняя температура составляла 11,7°C, зимой минус 1,4°C, весной 10,1°C, летом 24,6°C.

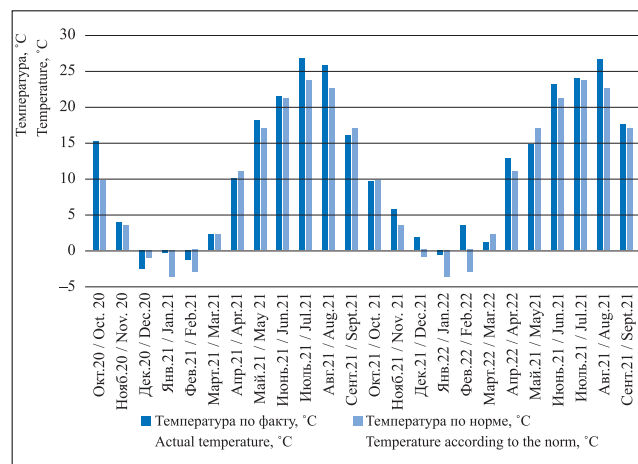


Рис. 3. Температура воздуха в период испытаний трититригии Памяти Любимовой в 2020-2022 гг.

Fig. 3. Air temperature during the testing period of triticum Pamyati Lyubimovoy (In Memory of Lyubimova) in 2020-2022



Рис. 4. Количество осадков в период испытаний трититригии Памяти Любимовой в 2020-2022 гг.

Fig. 4. The amount of precipitation during the testing period of triticum Pamyati Lyubimovoy (In Memory of Lyubimova) in 2020-2022

Осень была очень теплой, средняя температура для этого периода была выше на 2°C относительно среднесезонной нормы (9,7°C). Отмечалось существенное повышение температуры в октябре (на 5,8 при норме 9,4°C). Зима выдалась также теплой и на 1,27°C превышала норму (минус 2,67°C). Наиболее теплыми были январь с превышением температуры на 3,5°C (при норме минус 3,8°C) и февраль – на 1,7°C (при норме минус 3°C). Температура весеннего периода превышала среднесезонную норму (9,5°C) на 0,6°C. Наибольшая температура на 1,6°C относительно нормы (16,5°C) отмечена в мае. Летом в целом температура была выше среднесезонной (21,8°C) на 2,8°C: в июне – на 1°C (норма 20,5°C), июле – на 3,6°C (норма 23,1°C), августе – на 3,8°C (норма 21,9°C).

При втором высеве трититригии (сентябрь 2021-август 2022 года) метеословия были контрастными: осенью наблюдался недобор осадков на 57,8 мм (норма 131,5 мм), а зимой их количество превысило норму (145,7 мм) на 90,5 мм. Значительное превышение зафиксировано в декабре на 62,8 мм (норма 63,3 мм), январе на 20,7 мм (норма 45,1 мм) и феврале на 7,0 мм (норма 37,3 мм). Уровень осадков был ниже среднесезонных данных в весенний сезон на 21,4 мм (норма 131 мм), летом – на 63,8 мм (норма 174,2 мм).

Средняя суточная температура превышала среднесезонную величину осенью 2021 г. (9,7°C) на 0,7°C. Зима 2022 г. была теплее на 1,2°C в сравнении с среднесезонными данными (минус 2,67°C). Отмечено потепление в декабре на 2,9°C относительно среднесезонной (минус 1,2°C), январе – на 3,2°C (норма минус 3,8°C). Особенно теплым был февраль в превышение температуры на 6,5°C к норме (минус 3,0°C). В весенний период температура оставалась на уровне среднесезонной, превышала норму (9,5°C) на 0,2°C. Лето было жарким, с превышением среднесезонной температуры (21,8°C) на 2,7°C, особенно в июне и августе, соответственно на 2,6 и 4,7°C (при норме 20,5 и 21,9°C).

По окончании периода вегетации урожай трититригии убирали селекционным комбайном компании *Wintersteiger*. Наблюдения за растениями и учет проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Перед уборкой определяли биометрические данные растений, урожай соломы (побочный продукт), элементы структуры урожая, биологическую урожайность зерна.

С учетной делянки отбирали снопы растений для исследования в лабораторных условиях в четырехкратной повторности. Урожайность зерновых культур зависит от продуктивности каждого растения, их числа на единицу площади, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен. Биологическая урожайность часто не совпадает с комбайновой (фактической), тем не менее, дает представление о величине урожая и

возможность оценить ценные хозяйственные признаки возделываемой культуры. Комбайновую урожайность трититригии сорта Памяти Любимовой сравнивали с урожайностью озимой пшеницы сорта Станичная, распространенной в южной зоне Ростовской области. Статистическую обработку и дисперсионный анализ полученных данных проводили с использованием программ *Excel* и *Statistica 10.0*.

Результаты и обсуждение. По биометрическим показателям развитие растений трититригии по высоте (140,39 см) и длине колоса (15,37 см) соответствует заявленным параметрам (*табл. 1*).

Выход солоистой массы превысил зерновую (основную) часть в соотношении 3,98:1. Для сравнения, данный показатель озимой пшеницы в среднем составляет 1:1,05-1,18 [27].

Анализ элементов структуры урожая трититригии (*табл. 2*) показал, что в течение двухлетних испытаний процесс кущения растений происходил в условиях достаточной влагообеспеченности, поскольку продуктивный стеблестой (401,71 шт/м²) в 3,46 раза превысил количество растений с корнем (116,13 шт/м²).

Однако, фазы формирования и налива зерна трититригии совпадали в каждом году испытаний с временами засухи, недостаток влаги и повышенная температура воздуха неблагоприятно сказались на накоплении в зерне питательных веществ. Это напрямую отразилось на массе 1000 зерен, в среднем за два года исследований она составила 23,58 г, на 8-12 г ниже заявленной. В результате зерно трититригии оказалось невыполненным и щуплым. Предположительно это связано с тем, что фаза налива зерна протекала в экстремальных погодных условиях (высокая температура, низкая влажность воздуха и отсутствие осадков), поскольку была смещена по срокам из-за длительного вегетационного периода. Заметим, в такие же сроки в южной зоне Ростовской области приступают к уборке озимой пшеницы. Биологическая урожайность зерна трититригии оставалась на уровне 4 т/га.

При комбайновой урожайности допускаются потери зерна при уборке, вследствие чего этот показатель ниже биологической урожайности. В результате сравнительного анализа данных по комбайновой урожайности зерна трититригии сорта Памяти Любимовой и озимой пшеницы сорта Станичная установлено, что урожайность гибрида на 25,34% (1,29 т/га) ниже озимой пшеницы (*табл. 3*).

В результате двухлетних фенологических наблюдений за растениями установлено, что отсутствие осадков в послепосевной период и воздействие высоких температур, которые характерны для южной зоны Ростовской области, привели к полной гибели корневой системы. По этой причине растения показали низкую устойчивость к засухе, и предполагаемого отрастания новых побегов не происходило. По типу развития трититригия была идентична озимой пшенице.

Таблица 1

Table 1

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРИТИТРИГИИ ПАМЯТИ ЛЮБИМОВОЙ
BIOMETRIC INDICATORS OF TRITITRIGIA PAMYATI LYUBIMOVOY (IN MEMORY OF LYUBIMOVA)

Показатель Indicator	Год Year	Среднее арифметическое Mean	Среднее линейное отклонение Average Linear Deviation	Коэффициент вариации Coefficient of Variation
Высота растений, см Plant height, cm	2021	141,43	7,57	7,18
	2022	139,34	1,61	1,70
	Среднее / Average	140,39	4,10	3,41
Длина колоса, см Ear length, cm	2021	15,55	0,64	6,45
	2022	15,20	0,36	3,83
	Среднее / Average	15,37	0,47	3,66
Масса соломенной части с колосом, г/м ² Weight of straw with ear, g/m ²	2021	2030,30	55,59	3,47
	2022	1962,18	11,75	2,90
	Среднее / Average	1996,24	40,63	2,52
Масса зерна с колосьев, г Grain weight of, g	2021	409,47	3,74	1,31
	2022	392,92	5,76	3,05
	Среднее / Average	401,20	4,58	1,41
Масса соломы, г/м ² Straw weight, g/m ²	2021	1620,53	54,43	4,38
	2022	1569,25	14,02	3,45
	Среднее / Average	1595,04	29,90	3,13
Соотношение массы соломы и зерна Straw-to-grain weight ratio	2021	3,96	0,17	4,75
	2022	4,00	0,05	4,14
	Среднее / Average	3,98	0,10	3,32

Таблица 2

Table 2

ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ ТРИТИТРИГИИ «ПАМЯТИ ЛЮБИМОВОЙ»
YIELD COMPONENTS OF TRITITRIGIA PAMYATI LYUBIMOVOY (IN MEMORY OF LYUBIMOVA)

Показатель Indicator	Год Year	Среднее арифметическое Mean	Среднее линейное отклонение Average Linear Deviation	Коэффициент вариации Coefficient of Variation
Число растений с корнем, шт/м ² Number of plants with root, pcs/m ²	2021	119,08	2,02	3,50
	2022	113,17	2,33	2,52
	Среднее / Average	116,13	2,04	2,24
Число продуктивных стеблей, шт./м ² Number of productive stems, pcs./m ²	2021	416,08	7,36	3,26
	2022	387,33	9,52	4,33
	Среднее / Average	401,71	5,79	2,12
Масса одного колоса, г Weight of a single ear, g	2021	0,99	3,69	0,02
	2022	1,02	5,21	0,04
	Среднее / Average	1,00	2,88	0,02
Масса 1000 зерен, г Weight of 1000 grains, g	2021	24,76	0,54	3,45
	2022	22,40	0,63	3,09
	Среднее / Average	23,58	0,42	2,32
Число зерен в колосе, шт. Number of grains in a ear, pcs.	2021	39,75	1,21	3,74
	2022	45,31	1,20	3,25
	Среднее / Average	42,55	0,75	2,29
Биологическая урожайность, т/га Biological yield, tons per hectare (t/ha)	2021	4,38	0,05	1,68
	2022	4,18	0,10	3,05
	Среднее / Average	4,28	0,05	1,47

Таблица 3

Table 3

**КОМБАЙНОВАЯ УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ТРИТИТРИГИИ И ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (2021-2022 гг.)
COMBINE YIELD OF TRITITRIGIA AND WINTER WHEAT (2021-2022)**

Культура Crop	Урожайность, т/га Yield, tons per hectare (t/ha)			Отклонение Deviation	
	2021г.	2022г.	Средняя / Average	т/га / t/ha	%
Трититригия Памяти Любимовой Trititrigia (In Memory of Lyubimova)	3,94	3,67	3,80	–	–
Озимая пшеница Станичная Winter wheat Stanichnaya	4,56	5,62	5,09	1,29	25,34

Выводы. При возделывании трититригии Памяти Любимовой в южной зоне Ростовской области установлено, что данная культура обладает низкой устойчивостью к засухе, поскольку после уборки зернового урожая наблюдалась полная гибель ее корневой системы.

Результаты биометрической оценки показали превышение урожая побочной продукции (соломы) над основной (зерном) в 4 раза. Анализ элементов структуры урожая выявил низкую массу 1000 зерен (23,58 г) вследствие того, что фаза созревания и налива зерновки приходилась на засушливый период. Комбайновая урожайность зерна трититригии Памяти Любимовой (3,80 т/га) была на 25% ниже урожайности озимой пшеницы Станичная.

Таким образом, в почвенно-климатических условиях южной полусухой зоны Ростовской обла-

сти данная культура частично отвечает заявленным параметрам к возделыванию. Необходимо дальнейшее изучение качественно-технологических показателей зерна, энергетической питательности зеленого корма, влияния на плодородие почвы и экономической эффективности производства трититригии. Более обширные исследования данной культуры по разным направлениям позволят дать объективную оценку целесообразности ее возделывания при недостаточном неустойчивом увлажнении.

Авторы статьи выражают благодарность ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН» за предоставленный семенной материал трититригии сорта Памяти Любимовой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухоруков А.А. Влияние различных типов засухи на урожайность сортов озимой пшеницы // *Молодой ученый*. 2015. N22.2(102.2). С. 12-14.
2. Федотов А.А., Лиходиевская С.А., Хрипунов А.И. Влияние засух на урожайность озимой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. Т. 28. N11. С. 19-21.
3. Milyutkin V., Buxmann V., Mozgovoy A., et al. Modern technology for cultivation of agricultural crops in zones of risk farming with conservation and accumulation of atmospheric moisture. *Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS)*. 2022. Vol. 246. 138-146.
4. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб./Постат. 0-92. М.: 2020. 113 с.
5. Rudoy D., Pakhomov V., Olshevskaya A., et al. Review and analysis of perennial cereal crops at different maturity stages. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 937(2). 022111.
6. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Мальцева Т.А. и др. Обзор и анализ многолетних зерновых культур // *Инновационные технологии в науке и образовании*. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт. 2021. С. 48-52.
7. Цицин Н.В. Многолетняя пшеница. М.: Наука. 1978. 287 с.
8. Упелник В.П., Белов В.И., Иванова Л.П. и др. Наследие академика Н.В. Цицина – современное состояние и перспективы использования коллекции промежуточных пшенично-пырейных гибридов // *Вавиловский журнал*
9. Cui L., Ren Y., Murray T.D., et al. Development of perennial wheat through hybridization between wheat and wheat-grasses: A Review. *Engineering*. 2018. 4. 507-513.
10. Ebert A.W., Engels J.M.M. Plant biodiversity and genetic resources matter. *Plants*. 2020. 9(12). 1706.
11. Curwen-McAdams C., Jones S. Breeding perennial grain crops based on wheat. *Crop Science*. 2017. 57. 1172-1188.
12. Alvarez J.B., Guzmán C. Interspecific and intergeneric hybridization as a source of variation for wheat grain quality improvement. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. 131(2). 225-251.
13. Ceoloni C., Kuzmanović L., Ruggeri R., et al. Harnessing genetic diversity of wild gene pools to enhance wheat crop production and sustainability. *Challenges and Opportunities. Diversity*. 2017. 9. 55.
14. Pour-Aboughadareh A., Kianersi F., Poczai P., Moradkhani H. Potential of wild relatives of wheat: ideal genetic resources for future breeding programs. *Agronomy*. 2021. 11. 1656.
15. De Haan L., Christians M., Crain J., Poland J. Development and evolution of an intermediate wheatgrass domestication program. *Sustainability*. 2018. 10(5). 1499.
16. Jovovic Z., Andjelkovic V., Przulj N., Mandic D. Untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. In rediscovery of genetic and genomic resources for future food security. Springer: Singapore. 2020. 25-65.
17. Упелник В.П., Иванова Л.П., Кузнецова Н.Л. и др. Успехи отдаленной гибридизации – новая сельскохозяйствен-



- ная культура трититригия // *Идеи Н.И. Вавилова в современном мире*. СПб: ВИР. 2017. С. 57.
18. Upelnik V., Fisenko A., Ivanova L., et al. Biodiversity of distant hybrids of cereals in the collection of the Tsitsin MBGRAS. *Acta Horticulturae*. 2021. N1324. 233-236.
 19. Белов В.И., Иванова Л.П., Завгородний С.В., Упелник В.П. Селекционно-генетические ресурсы отрастающих промежуточных пшенично-пырейных гибридов (2n = 56) // *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2013. 4(199). С. 49-55.
 20. Аленичева А.Д., Завгородний С.В., Иванова Л.П. и др. Памяти Любимовой – первый сорт новой зерновой культуры ×Trititrigia cziczinii Tzvelev // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. N97. С. 23-26.
 21. Трифонова А.А., Борис К.В., Дедова Л.В. и др. Анализ полиморфизма генома представителей синтетического вида ×Trititrigia cziczinii Tsvel. Методом AFLP // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. N6. С. 648-653.
 22. Завгородний С.В., Иванова Л.П., Аленичева А.Д. и др. Морфобиологические и хозяйственно ценные особенности образцов из современной коллекции трититригии (×Trititrigia cziczinii Tzvel.) ГБС РАН // *Овощи России*. 2022. N2. С. 10-14.
 23. Иванова Л.П., Щуклина О.А., Ворончихина И.Н. и др. Перспективы использования новой сельскохозяйственной культуры трититригии (×Trititrigia cziczinii Tsvel) в кормопроизводстве // *Кормопроизводство*. 2020. N10. С. 13-16.
 24. Иванова Л.П., Кузнецова Н.Л., Ермоленко О.И. и др. Продуктивность и хлебопекарные свойства ×Trititrigia cziczinii // *Аграрная Россия*. 2020. N12. С. 14-17.
 25. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Kambulov S.I., et al. Methodology and results of studying soil moisture after the interaction with the operating devices. *E3 S Web of Conferences*. 2020. Vol. 175. 09006.
 26. Беренштейн И.Б., Воложанинов С.С., Машков А.М. и др. Ресурсосберегающие технологии уборки семенных посевов зерновых (колосовых) культур // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2019. N19 (182). С. 85-100.

REFERENCES

1. Sukhorukov A.A. Vliyaniye razlichnykh tipov zasukhi na urozhaynost' sortov ozimoy pshenitsy [Influence of different types of drought on the yield of winter wheat varieties]. *Molodoy uchenyy*. 2015. N22.2(102.2). 12-14 (In Russian).
2. Fedotov A.A., Likhodievskaia S.A., Khripunov A.I. Vliyaniye zasukh na urozhaynost' ozimoy pshenitsy [Influence of drought on winter wheat productivity]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2014. Vol. 28. N11. 19-21 (In Russian).
3. Milyutkin V., Buxmann V., Mozgovoy A., et al. Modern technology for cultivation of agricultural crops in zones of risk farming with conservation and accumulation of atmospheric moisture. *Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS)*. 2022. Vol. 246. 138-146 (In English).
4. Okhrana okruzhayushchey sredy v Rossii [Environmental protection in Russia]. 2020: Stat. sb. Rosstat. 0-92 Moscow: 2020. 113 (In Russian).
5. Rudoy D., Pakhomov V., Olshevskaya A., et al. Review and analysis of perennial cereal crops at different maturity stages. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 937(2). 022111 (In English).
6. Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Mal'tseva T.A., et al. Obzor i analiz mnogoletnikh zernovykh kul'tur [Review and analysis of permanent grain crops]. *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii*. Rostov-na-Donu: DGTU-Print. 2021. 48-52 (In Russian).
7. Tsitsin N.V. Mnogoletnyaya pshenitsa [Perennial wheat]. Moscow: Nauka. 1978. 287 (In Russian).
8. Upelnik V.P., Belov V.I., Ivanova L.P., et al. Nasledie akademika N.V. Tsitsina – sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya kollektzii promezhutochnykh pshenichno-pyreynykh gibridov [The legacy of academician N.V. Tsitsin – current state and prospects of utilizing the collection of intermediate wheat- wheat-couch grass hybrids]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2021. 16(3). 667-674 (In Russian).
9. Cui L., Ren Y., Murray T.D., et al. Development of perennial wheat through hybridization between wheat and wheatgrasses: A Review. *Engineering*. 2018. 4. 507–513 (In English).
10. Ebert A.W., Engels J.M.M. Plant biodiversity and genetic resources matter. *Plants*. 2020. 9(12). 1706 (In English).
11. Curwen-McAdams C., Jones S. Breeding perennial grain crops based on wheat. *Crop Science*. 2017. 57. 1172-1188 (In English).
12. Alvarez J.B., Guzmán C. Interspecific and intergeneric hybridization as a source of variation for wheat grain quality improvement. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. 131(2). 225-251 (In English).
13. Ceoloni C., Kuzmanović L., Ruggeri R., et al. Harnessing genetic diversity of wild gene pools to enhance wheat crop production and sustainability. *Challenges and Opportunities. Diversity*. 2017. 9. 55 (In English).
14. Pour-Aboughadareh A., Kianersi F., Poczai P., Moradkhani H. Potential of wild relatives of wheat: ideal genetic resources for future breeding programs. *Agronomy*. 2021. 11. 1656 (In English).
15. De Haan L., Christians M., Crain J., Poland J. Development and evolution of an intermediate wheatgrass domestication program. *Sustainability*. 2018. 10(5). 1499 (In English).
16. Jovovic Z., Andjelkovic V., Przulj N., Mandic D. Untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. In rediscovery of genetic and genomic resources for future food security. Springer: Singapore. 2020. 25-65 (In English).
17. Upelnik V.P., Ivanova L.P., Kuznetsova N.L., et al. Uspekhi otdalenoj gibridizatsii – novaya sel'skokhozyaystvennaya kul'tura trititrigiya [Advancements in distant hybridization – introducing trititrigia as a novel agricultural crop]. *Idey N.I. Vavilova v sovremennom mire*. Saint Petersburg: VIR. 2017. 57 (In Russian).

18. Upelnik V., Fisenko A., Ivanova L., et al. Biodiversity of distant hybrids of cereals in the collection of the Tsitsin MB-GRAS. *Acta Horticulturae*. 2021. N1324. 233-236 (In English).
19. Belov V.I., Ivanova L.P., Zavgorodniy S.V., Upelnik V.P. Selektionno-geneticheskie resursy otrastayushchikh promezhutochnykh pshenichno-pyrenykh gibridov (2n = 56) [Breeding and genetic resources of growing intermediate wheat-couch grass hybrids (2n = 56)]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada*. 2013. 4(199). 49-55 (In Russian).
20. Alenicheva A.D., Zavgorodniy S.V., Ivanova L.P., et al. Pamyati Lyubimovoy – pervyy sort novoy zernovoy kul'tury \times Trititrigia cziczinii Tzvelev [In Memory of Lyubimova – The First Variety of the New Cereal Crop \times Trititrigia cziczinii Tzvelev]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. N97. 23-26 (In Russian).
21. Trifonova A.A., Boris K.V., Dedova L.V., et al. Analiz polimorfizma genoma predstaviteley sinteticheskogo vida \times Trititrigia cziczinii Tsvel. Metodod AFLP [Genome polymorphism of the synthetic species \times Trititrigia cziczinii Tsvel. inferred from AFLP analysis]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2018. N6. 648-653 (In Russian).
22. Zavgorodniy S.V., Ivanova L.P., Alenicheva A.D., et al. Morfobiologicheskie i khozyaystvenno tsennyye osobennosti obraztsov iz sovremennoy kollektzii trititrigii (\times Trititrigia cziczinii Tzvel.) [Morphobiological and economically valuable features of samples from the modern collection of trititrigia (\times Trititrigia cziczinii Tzvel.)]. GBS RAN. *Ovoshchi Rossii*. 2022. N2. 10-14 (In Russian).
23. Ivanova L.P., Shchuklina O.A., Voronchikhina I.N., et al. Perspektivy ispol'zovaniya novoy sel'skokhozyaystvennoy kul'tury trititrigii (\times Trititrigia cziczinii Tsvel.) v kormoproizvodstve [Prospects for use the new Trititrigia crop (\times Trititrigia cziczinii Tsvel.) in feed production]. *Kormoproizvodstvo*. 2020. N10. 13-16 (In Russian).
24. Ivanova L.P., Kuznetsova N.L., Ermolenko O.I., et al. Produktivnost' i khlebopekarnyye svoystva \times Trititrigia cziczinii [Productivity and baking properties of \times Trititrigia cziczinii]. *Agrarnaya Rossiya*. 2020. N12. 14-17 (In Russian).
25. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Kambulov S.I., et al. Methodology and results of studying soil moisture after the interaction with the operating devices. *E3 S Web of Conferences*. 2020. Vol. 175. 09006 (In English).
26. Berenshteyn I.B., Volozhaninov S.S., Mashkov A.M., et al. Resursoberegayushchie tekhnologii uborki semennykh poshevov zernovykh (kolosovykh) kul'tur [Resource-saving technologies for harvesting seed crops of grain (spike) crops]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriy*. 2019. N19 (182). 85-100 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Лачуга Ю.Ф. – концептуализация, научное руководство;
 Месхи Б.Ч. – концептуализация, научное руководство;
 Пахомов В.И. – концептуализация, научное руководство, методология;
 Семенихина Ю.А. – методология, поиск и анализ литературы, проведение исследований, визуализация;
 Камбулов С.И. – научное руководство, методология, проведение исследований;
 Рудой Д.В. – проведение исследований, обработка экспериментальных данных, формирование общих выводов;
 Мальцева Т.А. – поиск и анализ литературы, обработка экспериментальных данных, визуализация, доработка текста.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lachuga Yu.F. – conceptualization, scientific supervision;
 Meskhi B.Ch. – conceptualization, scientific supervision;
 Pakhomov V.I. – conceptualization, scientific supervision, methodology;
 Semenikhina Yu.A. – methodology, literature search and analysis, conducting research, visualization;
 Kambulov S.I. – scientific supervision, methodology, conducting research;
 Rudoy D.V. – conducting research, processing experimental data, forming general conclusions;
 Maltseva T.A. – literature search and review, experimental data processing, visualization, manuscript revision.
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

03.07.2023
 17.08.2023

Технология и установка очеса в линии первичной переработки льна-долгунца

Роман Анатольевич Ростовцев,
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
e-mail: r.rostovcev@fnclck.ru;

Виктор Григорьевич Черников,
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор, главный научный сотрудник,
e-mail: v.chernikov@fnclck.ru;

Сергей Викторович Соловьёв,
инженер-проектировщик,
e-mail: s.solovyov@fnclck.ru;

Игорь Борисович Казаков,
младший научный сотрудник,
e-mail: i.kazakov@fnclck.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. Отметим использование рабочего органа колебательного типа для очеса в линии первичной переработки льна-долгунца. Описали уравнение движения рабочего органа, на основании которого возможно определить основные геометрические параметры механизма. (*Цель исследования*) Разработать технологию очеса льна-долгунца на льнозаводе с применением предлагаемого устройства гребневого типа, изучить параметры и режимы его работы. (*Материалы и методы*) Разработали экспериментальную установку очесывающего аппарата, исследовали технологический процесс очесывания льна в заводских условиях. Определили границы изучаемых параметров. Предложили модель теоретического расчета очесывающего аппарата. (*Результаты и обсуждения*) Теоретически определены кинематический режим работы, чистота очеса, потери семян при очесе. Установили, что толщина ленты льна оказывает влияние на качество очеса. С увеличением толщины льнотресты происходит забивание очесывающего устройства, что приводит к образованию путанины и намоток на рабочий орган. Недостаточная толщина ленты льна приводит к большому травмированию стеблей. Пределы толщины ленты льна принимались, исходя из возможной минимальной и максимальной урожайности: нижний – 0,01 метра, верхний – 0,05 метра. Заводская технология очеса позволит снизить потери семян на 10 процентов и на 6 процентов себестоимость производства. (*Выводы*) Представлены теоретическое обоснование параметров и режимов работы очесывающего аппарата в линии переработки льна, его конструкция. Установлены скорость подачи ленты льна от 1,0 до 1,5 метра в секунду, частота вращения рабочего органа от 2,2 до 3,0 оборотов в секунду.

Ключевые слова: лен-долгунец, очесывающее устройство гребневого типа, семена, лента льна, линия первичной переработки.

■ Для цитирования: Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Соловьёв С.В., Казаков И.Б. Технология и установка очеса в линии первичной переработки льна-долгунца // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 43-47. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-43-47. EDN TBWNPO.

Technology and Implementation of Flax Stripping in the Primary Flax Processing Line

Roman A. Rostovtsev,
corresponding member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.),
e-mail: r.rostovcev@fnclck.ru;

Viktor G. Chernikov,
corresponding member of the Russian Academy of Sciences,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
e-mail: v.chernikov@fnclck.ru;

Sergey V. Solovyov,
design engineer,
e-mail: s.solovyov@fnclck.ru;

Igor B. Kazakov,
junior researcher,
e-mail: i.kazakov@fnclck.ru

Federal Researcher Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Abstract. This paper investigates the utilization of an oscillatory-type working body for the stripping process within the primary fiber flax processing line. It also introduces the equation governing the movement of this working body, thereby enabling the determination of the fundamental geometric parameters of the mechanism. (*Research purpose*) To develop the technology for fiber flax stripping at a flax mill using the proposed comb-type device, and to examine the parameters and modes of its functionality.

(Materials and methods) A testing model was designed for a stripping machine, enabling an exploration of the flax combing process within the factory. The limitations of the parameters under investigation were identified. Furthermore, a theoretical model was formulated to calculate the performance of the stripper. (Results and discussion) The operation kinematic mode, stripping cleanliness, and seed losses during the stripping process are determined through theoretical analysis. It is discovered that the quality of stripping is influenced by the thickness of the flax ribbon. Specifically, an increase in the flax straw's thickness results in the clogging of the stripping device, subsequently leading to the formation of tangles and entanglements on the working body. On the other hand, insufficient thickness of the flax ribbon leads to significant damage to the stems. The limits for the thickness of the flax ribbon are established considering both the potential minimum and maximum yields: the lower limit being 0.01 meters and the upper limit set at 0.05 meters. The application of the factory's stripping technology is expected to ensure a 10 percent reduction in seed losses and an additional 6 percent reduction in production costs. (Conclusions) Theoretical justification for the parameters and operational modes of the stripper in the flax processing line, along with its design, is provided. The feed speed of the flax ribbon is configured to range between 1.0 and 1.5 meters per second, while the rotation frequency of the working body varies from 2.2 to 3.0 revolutions per second.

Keywords: fiber flax, comb-type stripper, seeds, flax ribbon, primary processing line.

■ **For citation:** Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Solovyov S.V., Kazakov I.B. Tekhnologiya i ustanovka ochesa v linii pervichnoy pererabotki l'na-dolguntsa [Technology and implementation of flax stripping in the primary flax processing line]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 43-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-43-47. EDN TBWNPO.

От совершенства технологического процесса отделения семенной части урожая зависят потери семян и соломы, выход и качество волокна, состав вороха, трудоемкость и энергоемкость переработки. Задача совершенствования машин, создания новых рабочих органов для очеса и выделения коробочек и семян льна-долгунца является актуальной. Однако ее реализация сдерживается отсутствием научно обоснованных конструкторских и технологических решений [1-3].

Цель исследования. Разработать технологию очеса льна-долгунца в линии первичной переработки с применением устройства колебательного типа, изучить параметры и режимы операции. Данная технология позволит: снизить потери семян, отход стеблей в путанину; осуществить очес семян в заводских условиях; сократить затраты труда [4].

Материалы и методы. Разработали экспериментальную установку с очесывающим устройством колебательного типа (рис. 1) в линии первичной переработки льна *Van Dommele* [5]. В состав устройства входят ленточно-дисковый зажимной транспортер и аппарат гребневого типа для отделения семенных коробочек от стеблей. Рабочим органом аппарата является гребенка 1 с зубчатой поверхностью нижней части, приводимая в движение с помощью кривошипного привода 2 и свободно вращающегося эксцентрика 3.

Лента льна 4, фиксируемая ремнем 5 зажимного транспортера и обрезиненным диском 6, поступает в зону очесывания гребенкой 1 верхушечной части стеблей с семенными коробочками. Под действием силы отрыва коробочек P нарушаются механические связи между стеблями, за счет этого и трения с зубьями гребенки слой стеблей частично выравнивается.

Результаты и обсуждение. Теоретически определены кинематический режим и параметры работы

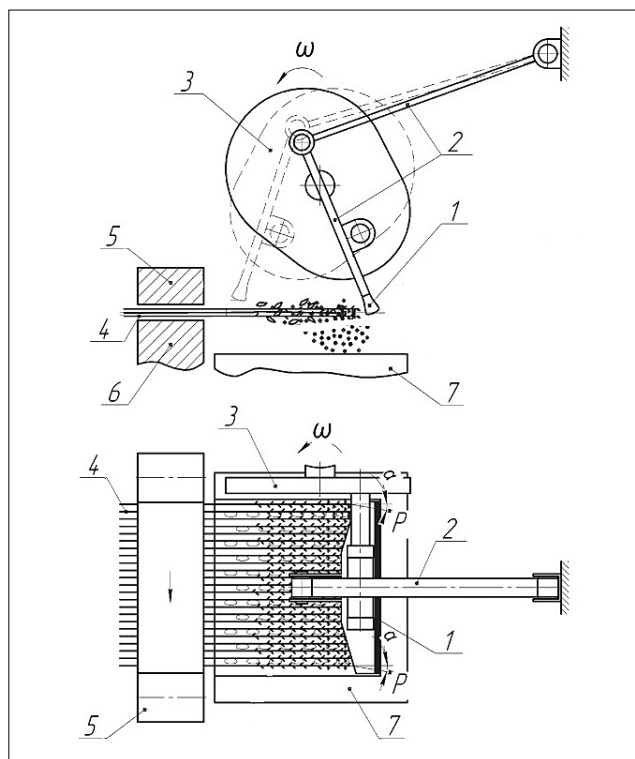


Рис. 1. Схема очесывающего устройства: 1 – рабочий орган; 2 – кривошипный привод; 3 – эксцентрик; 4 – лента льна; 5 – ремень зажимного транспортера; 6 – обрезиненный диск; 7 – ленточный транспортер

Fig. 1. Diagram of the stripping device: 1 – working body; 2 – crank drive; 3 – eccentric; 4 – flax ribbon; 5 – clamping conveyor belt; 6 – rubber-coated disc; 7 – belt conveyor

гребневого устройства, чистоту очеса. Качество и полнота отделения коробочек и семян зависят от траектории, скорости и ускорения движения ленты неочесанной льнотресты при ее перемещении зажимным транспортером к очесывающему аппарату [6].

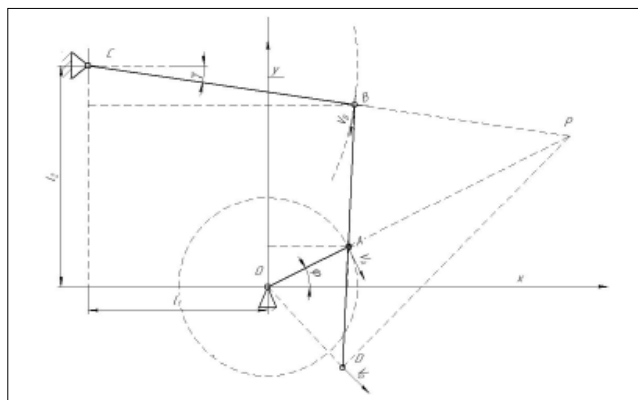


Рис. 2. Кинематическая схема очесывающего устройства колебательного типа

Fig. 2. Kinematic diagram of the oscillating stripper

На рисунке 2 представлена расчетная схема очесывающего устройства колебательного типа для линии первичной переработки льна *Van Dommele* [7-9].

Гребенка расположена в конце шатуна AB в точке D . Движение точки D зависит от геометрических параметров очесывающего устройства. Общая точка A кривошипа OA и шатуна AB вращается вокруг оси O симметрично по окружности радиуса R с постоянной угловой скоростью ω . Относительно оси координат, проходящей через точку O , уравнение движения точки A имеет вид:

$$\begin{cases} X_A(t) = OA \cdot \cos \varphi \\ Y_A(t) = OA \cdot \sin \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

где OA – длина кривошипа, м,

φ – угол поворота кривошипа OA вокруг точки O , град;

t – время движения, с.

$$\varphi = \omega_{OA} \cdot t, \quad (2)$$

Уравнение движения точки B :

$$\begin{cases} X_B(t) = CB \cdot \cos \gamma - l_1, \\ Y_B(t) = l_2 - CB \cdot \sin \gamma, \end{cases} \quad (3)$$

где CB – длина коромысла, м;

γ – угол поворота коромысла CB относительно точки C , град;

l_1 и l_2 – соответственно горизонтальное и вертикальное расстояние между опорами C и O , м.

$$\gamma = \omega_{CB} \cdot t, \quad (4)$$

где, ω_{CB} – угловая скорость коромысла, c^{-1} ;

Шатун BD является жестким стержнем, поэтому координаты точки D зависят от координат положения точек A и B . С учетом этих точек координаты точки D :

$$\begin{cases} X_D(t) = (BA + AD) \cdot X_A(t) - AD \cdot X_B(t) \\ Y_D(t) = (BA - AD) \cdot Y_A(t) - AD \cdot Y_B(t), \end{cases} \quad (5)$$

а уравнение движения точки D имеет вид:

$$\begin{cases} X_D(t) = (BA + AD) \cdot OA \cdot \cos \varphi - AD \cdot CB \cdot \cos \gamma - l_1 \\ Y_D(t) = (BA - AD) \cdot OA \cdot \sin \varphi - AD \cdot l_2 - CB \cdot \sin \gamma \end{cases} \quad (6)$$

Скорость и ускорение точки D – это соответственно первая и вторая производные движения по времени [10-12].

Анализируя механизм колебательного типа, можно отметить, что в любом положении абсолютная скорость рабочего органа не превышает критическую скорость (17-28 м/с) удара по массе, при которой начинается разрушение семян [13-16]. Поскольку слой ленты льна и стебли протаскиваются между зубьями очесывающей гребенки, то процесс отрыва и выделения семенных коробочек, в отличие от уравнений кинетики, имеет импульсный характер при непрерывном движении ленты в камере очеса.

Преимущества предлагаемого устройства в линию *Van Dommele* заключается в разработке более совершенного очесывающего органа (гребенки), что позволит снизить потери семян льна и повреждение семян. Предварительные, определенные в заводских условиях, границы изучаемых параметров будут уточнены при окончательной производственной апробации технологического процесса.

Выводы. Результаты исследования позволяют связать конструктивные параметры очесывающего устройства колебательного типа с кинематическими параметрами движения его основных элементов и могут быть использованы при экспериментальных работах и проектировании устройства.

Установлены границы параметров очесывающего устройства для линии первичной переработки льна: скорость подачи ленты льна от 1,0 до 1,5 м/с, частота вращения рабочего органа от 2,2 до 3,0 c^{-1} . Дальнейшее направление совершенствования устройства будет заключаться в подборе рациональных режимов работы.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Черников В.Г., Порфирьев С.Г., Ростовцев Р.А. Очесывающие аппараты льноуборочных машин. М.: Издательство ВИМ. 2004. 237 с.
- Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ушаповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 45-52.
- Uschapovsky I. The Russian flax sector: bottlenecks and solutions. *Journal of Natural Fibers*. 2009. Vol. 6. №1. 108-113.
- Marchenkov A., Rozhmina T., Uschapovsky I., Muir A.D.

- Cultivation of flax / Flax: the genus *Linum*. Ed. Alister D. Muir and Neil D. Westcott. New York, 2003. 74-91.
5. Попов Р.А., Давыдова С.А., Голубев И.Г. Технические средства для уборки льна-долгунца // *Техника и оборудование для села*. 2021. N7(289). С. 23-27.
 6. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Соловьёв С.В. Исследование параметров и режимов работы аппарата для очеса льна на корню // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С.13-18.
 7. Черников В.Г., Ростовцев Р.А. Определение параметра интенсивности отрыва коробочек льна при работе очесывающего устройства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 20-23.
 8. Ковалев М.М., Галкин А.В. Анализ процесса очеса стеблей барабаном с поступательно-круговым движением гребней // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N4. С. 25-27.
 9. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров; под ред. И.Г.Арамановича. М.: Наука, 1984. 831 с.
 10. Кругленья В.Е., Левчук В.А., Левкин М.В. Результаты испытаний обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна фирмы Van Dommelle // *Вестник БГСХА*. 2013. N3. С. 127-131.
 11. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Татарнищев К.В. Анализ взаимодействия стеблей льна с лопаткой монощелевого очесывающего аппарата // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2014. N4. 2014. С. 38-40.
 12. Хайлис Г.А., Быков Н.Н., Бухаркин В.Н. и др. Льюноборочные машины. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.
 13. Порфирьев С.Г. Обоснование параметров очесывающего аппарата для льюноборочных машин // *Комплексная механизация возделывания сельскохозяйственных культур: сб. научных трудов ВСХИЗВ*. М.: 1991. С. 51-61.
 14. Шаршунов В.А., Кругленья В.Е., Кудрявцев А.Н. и др. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна. Горки: БГСХА, 2016. 156 с.
 15. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural machinery and technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
 16. 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.

REFERENCES

1. Chernikov V.G., Porfir'ev S.G., Rostovtsev R.A. Ochesyvayushchie apparaty l'noborochnykh mashin [Strippers for flax harvesters]. Moscow: Izdatel'stvo VIM. 2004. 237 (In Russian).
2. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovskiy I.V., Popov R.A. Osnovnye problemy nauchnogo obespecheniya l'novodstva [The main problems of scientific support of flax growing]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 45-52 (In Russian).
3. Uschapovsky I. The Russian flax sector: bottlenecks and solutions. *Journal of Natural Fibers*. 2009. Vol. 6. N1. 108-113 (In English).
4. Marchenkov A., Rozhmina T., Uschapovsky I., Muir A.D. Cultivation of flax. Flax: the genus *Linum*. Ed. Alister D. Muir and Neil D. Westcott. New York, 2003. 74-91 (In English).
5. Popov R.A., Davydova S.A., Golubev I.G. Tekhnicheskie sredstva dlya uborki l'na-dolguntsa [Equipment for harvesting fiber flax]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N7(289). 23-27 (In Russian).
6. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Solov'yov S.V. Issledovanie parametrov i rezhimov raboty apparata dlya ochesa l'na na kornyu [Study on parameters and operating modes of the device for deseeding flax in the field] *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 13-18 (In Russian).
7. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A. Opredelenie parametra intensivnosti otryva korobochek l'na pri rabote ochesyvayushchego ustroystva [Determination of parameter of intensity of flax balls separation during comb deseeder operation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N4. 20-23 (In Russian).
8. Kovalev M.M., Galkin A.V. Analiz protsessa ochesa stebley barabanom s postupatel'no-krugovym dvizheniem grebney [Analysis of the stem combing process performed by a drum with ridges' progressive-circular motions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. N4. 25-27 (In Russian).
9. Korn G.A., Korn T.M. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Pod red. I.G.Aramanovicha [Handbook of mathematics for researchers and engineers; ed. I.G. Aramanovich]. Moscow: Nauka. 1984. 831 (In Russian).
10. Kruglenya V.E., Levchuk V.A., Levkin M.V. Rezul'taty ispytaniy obmolachivayushchego ustroystva v linii pervichnoy pererabotki l'na firmy Van Dommelle [Test results of the threshing device in the Van Dommelle flax primary processing line]. *Vestnik BGSKHA*. 2013. N3. 127-131 (In Russian).
11. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Tatarnitsev K.V. Analiz vzaimodeystviya stebley l'na s lopatkoy monoshchelevogo ochesyvayushchego apparata [Interaction of flax stalks with the blade of a monoslit stripper]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2014. N4. 2014. 38-40 (In Russian).
12. Khaylis G.A., Bykov N.N., Bukharkin V.N. et al. L'noborochnye mashiny [Flax harvesters]. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 232 (In Russian).
13. Porfir'ev S.G. Obosnovanie parametrov ochesyvayushchego apparata dlya l'noborochnykh mashin [Rationale for the parameters of the flax harvester's stripping mechanism]. *Kompleksnaya mekhanizatsiya vozdelvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: sb. nauchnykh trudov VSKHIZV*. Moscow, 1991. 51-61 (In Russian).
14. Sharshunov V.A., Kruglenya V.E., Kudryavtsev A.N., et al. Osnovy rascheta rabochikh organov mashin i oborudovaniya dlya proizvodstva semyan l'na [Principles for calculat-

- ing working bodies of machinery and equipment for flax seed production]. Gorki: BGSKHA, 2016. 156 (In Russian).
15. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. Agricultural mashinery and technologies. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
16. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S.

Innovatsionnaya sistema mashinnotekhnologicheskogo obespecheniya predpriyatiy agro–pro–myshlennogo kompleksa [Innovative system of machine and technological support of agro-industrial enterprises]. Part. 1. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya sel'skokozyaystvennykh predpriyatiy na dlitel'nyuyu perspektivu. Moscow: 2019. 228 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ростовцев Р.А. – формулирование концепции решения, постановка задачи, анализ результатов исследования;

Черников В.Г. – общее научное руководство, проведение теоретических исследований, разработка и доработка решения;

Соловьёв С.В. – разработка основного рабочего органа – гребенки и экспериментальной установки, подготовка и анализ литературных данных;

Казаков И.Б. – участие в разработки экспериментальной установки, проведение предварительных испытаний в заводских условиях.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Rostovtsev R.A. – formulation of the solution concept, problem statement, analysis of research results;

Chernikov V.G. – overall scientific guidance, theoretical research, solution development and refinement;

Solovyev S.V. – development of the main working component - the combing mechanism and experimental setup, compilation and analysis of literary data;

Kazakov I.B. – participation in the development of the experimental setup, conducting preliminary tests in factory conditions.

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

04.07.2023
18.08.2023

Оценка соответствия колеи трактора с междурядьем посевов

Адилбек Агабекович Ахметов¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: tractor-v@mail.ru;

Бахтиёр Акбаралиевич Камбаров²,
доктор технических наук, доцент,
e-mail: b_kambarov@rambler.ru;

Дильфуза Усманиевна Камбарова³,
ассистент кафедры,
e-mail: kdu316@mail.ru;

Жахонгир Акбаралиевич Султанов⁴,
стажер-исследователь

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Республика Узбекистан;

²Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская область, Республика Узбекистан;

³Ташкентский государственный технический университет им. И.А. Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан;

⁴Конструкторский технологический центр сельскохозяйственного машиностроения, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. К факторам, отрицательно влияющим на рост и развитие сельскохозяйственных культур, относится воздействие ходовой части машинно-тракторного агрегата на почву в зоне расположения корневой системы растения. В результате область уплотнения почвы колесами трактора все больше охватывает защитную зону растения. Это затрудняет рост и развитие корневой системы, освоение питательных элементов почвы, приводит к повреждению или вытаптыванию растений. В настоящее время отсутствует единый показатель соответствия колеи трактора и обрабатываемого междурядья. (*Цель исследования*) Разработка показателя для оценки соответствия колеи трактора с обрабатываемым междурядьем. (*Материалы и методы*) Показали, что степень соответствия колеи трактора с междурядьем посевов определяется на основе размеров междурядья посевов, колеи трактора, защитной зоны, предусмотренной агротехническими требованиями, отклонением траектории движения колес от оси симметрии междурядья и типоразмеров шин. (*Результаты и обсуждение*) Выведена аналитическая зависимость, определяющая степень соответствия колеи трактора с междурядьем посевов сельскохозяйственных культур на примере возделывания хлопка. Установили, что имеющиеся в хлопкосеющих хозяйствах республики серийные тракторы обеспечивают полноценную работу только на междурядьях 60 и 90 сантиметров. Применение этих технических средств на междурядьях 70 и 76 сантиметров приводит к вытаптыванию и повреждению рядков растений. (*Выводы*) Определили и подтвердили приемлемость разработанного показателя. Совершенствование ходовой системы трактора должно быть направлено на поиск технического решения, обеспечивающего изменение колеи трактора бесступенчатым регулированием в широком диапазоне, тем самым адаптирующего ее к любым междурядьям. **Ключевые слова:** трактор, колесо, колея, шина, посевы, междурядье, почва, растения, корневая система, защитная зона.

■ Для цитирования: Ахметов А.А., Камбаров Б.А., Камбарова Д.У., Султанов Ж.А. Оценка соответствия колеи трактора с междурядьем посевов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т.17. №3. С. 48-53. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-48-53. EDN EESEBY.

Assessment of Tractor Track Width Compatibility with Crop Inter-Row Spacing

Adilbek A. Akhmetov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: tractor-v@mail.ru;
Bakhtiyor A. Kambarov²,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor,
e-mail: b_kambarov@rambler.ru;

Dilfuza U. Kambarova³,
assistant,
e-mail: kdu316@mail.ru;
Zhakhongir A. Sultanov⁴,
trainee researcher

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIAME), National Research University, Tashkent city, Republic of Uzbekistan;

²Scientific Research Institute of Agriculture Mechanization, Tashkent region, Republic of Uzbekistan;

³Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent city, Republic of Uzbekistan;

⁴Design and Technological Center for Agricultural Engineering, Tashkent city, Republic of Uzbekistan

Abstract. Various factors can exert detrimental effects on crop growth and development, among which the influence of the machinery's running gear within the machine-tractor unit stands out, particularly within the soil vicinity encompassing the plant's root system. As a result, the area of soil compaction arising from tractor wheel pressure increasingly covers the plant's protective zone. This poses challenges for both root system growth and development, as well as the optimal uptake of soil nutrients, often leads to plant damage or even trampling. Presently, there is no universally accepted metric for assessing the compatibility between tractor track width and the specific inter-row spacing under cultivation. (*Research purpose*) Development of an indicator to assess the compatibility of the tractor track width with the cultivated inter-row spacing. (*Materials and methods*) The analysis demonstrates that the level of compatibility of the tractor track to the crop inter-row spacing is determined based on the dimensions of the crop spacing, the tractor track width, the protective zone outlined by agrotechnical standards, the deviation of the wheel trajectory from the axis of row symmetry, and tire size. (*Results and discussion*) An analytical correlation has been derived to determine the level of compatibility between tractor track width and crop inter-row spacing, using the context of cotton cultivation as an illustrative example. It has been revealed that among the serial tractors utilized within cotton farms across the region, full-fledged operational performance is exclusively achieved when row spacings measure 60 and 90 centimeters. In contrast, the utilization of this machinery on row spacings of 70 and 76 centimeters leads to detrimental outcomes such as row trampling and plant damage. (*Conclusions*) The viability of the developed indicator has been determined and validated. The improvement of the tractor propulsion system should be aimed at devising a technical solution that facilitates seamless adjustment of track width over a broad spectrum, thus allowing for adaptability to diverse row spacing requirements.

Keywords: tractor, wheel, track, tire, crops, inter-row spacing, soil, plants, root system, protective zone.

■ For citation: Akhmetov A. A., Kambarov B. A., Kambarova D.U., Sultanov Zh.A. Otsenka sootvetstviya kolei traktora s mezhduryad'em posevov [Assessment of tractor track width compatibility with crop inter-row spacing]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 48-53 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-48-53. EDN EESEBY.

Урожайность сельскохозяйственных культур зависит от многих факторов, в том числе связанных с соблюдением технологии производства и агротехнических требований к продукции. Нередко наблюдается негативное воздействие на рост и развитие растений ходовой системы машинно-тракторного агрегата (МТА) на почву [1, 2]. Особенно это нежелательно в зоне расположения корневой системы.

В целях повышения производительности труда сельскохозяйственные предприятия применяют широкозахватные машины, агрегатируемые энергонасыщенными тракторами [3-5]. Это существенно снижает затраты труда механика-оператора по сравнению с традиционными, но из-за высокой эксплуатационной массы техники происходит переуплотнение почвы, особенно при работе колесных тракторов [6-8]. При переуплотнении почвы более, чем на $1,1 \text{ г/см}^3$ повышается ее удельное сопротивление в процессе последующей обработки, замедляется рост и развитие растений и, главное, снижается урожайность культуры [9, 10].

Несоответствие колеи современных колесных универсально-пропашных тракторов с междурядьями посевов даже с более узкими шинами только усугубляет проблему [11-13]. Зона уплотненной почвы все больше охватывает защитную зону растения [14, 15]. Снижается усвоение питательных веществ из почвы, растения повреждаются и вытаптываются. Из-за отсутствия единого показателя, отражающего соответствие колеи трактора обрабатываемому междурядью, колея трактора в основном выбирается из условия обеспечения защитной зоны обрабатываемых культур [16].

Цель исследования. Обоснование и оценка выбора колеи трактора на основе показателя степени соответствия колеи конкретным размерам междурядий посевов с точки зрения устранения негативного воздействия движителей на почву в зоне корневой системы растений. Определить подходящие марки тракторов при выращивании хлопка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Степень соответствия колеи трактора с междурядьем посевов определяется на основе размеров междурядья, колеи трактора, допустимой защитной зоны, предусмотренной агротехническими требованиями, отклонением траектории движения колес от оси симметрии междурядья, типоразмеров шин [11, 17]. Все перечисленные параметры в той или иной степени отражены в технологических картах возделывания хлопчатника, агротехнических требованиях к посеву и междурядным обработкам, конструктивных параметрах ходовой системы трактора [16, 18-20].

Задачи исследования:

- определение показателя соответствия колеи трактора с междурядьем посевов;
- оценка экспериментально-расчетным путем соответствия применяемых в Республике Узбекистан серийных тракторов этому показателю на примере хлопчатника и сопутствующих культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Исходя из логики и нормативных требований при выбранной колее для любого междурядья колесо трактора не должно повреждать растение. В соответствии с расчетной схемой на [рисунке](#) этого можно добиться при следующем условии:

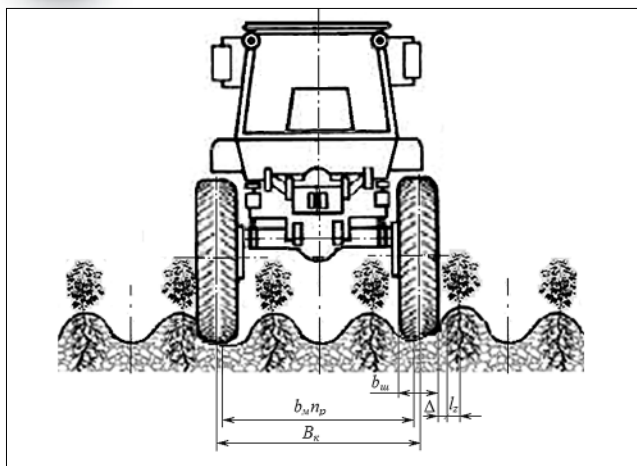


Рисунок. Расчетная схема для определения степени соответствия колеи трактора с междурядьем: $b_{ш}$ – ширина шины, см; $b_{м}$ – ширина междурядья, см; $n_{р}$ – число рядков между колесами; $B_{к}$ – ширина колеи, см; $l_{з}$ – размер защитной зоны растения, см; Δ – максимальное отклонение траектории движения колес от оси симметрии междурядья, см

Figure. Diagram for assessing tractor track compatibility with inter-row spacing: $b_{ш}$ – tire width, cm; $b_{м}$ – inter-row width, cm; $n_{р}$ – number of rows between wheels; $B_{к}$ – track width, cm; $l_{з}$ – the size of the plant protective zone; Δ – maximum deviation of wheel movement trajectory from the axis of symmetry between rows, cm.

- для колес, смещенных от оси симметрий междурядья во внешнюю сторону:

$$B_{к} + \left(\frac{b_{ш}}{2} + l_{з} + \Delta \right) = b_{м} n_{р} + \frac{b_{м}}{2}, \quad (1)$$

- для колес, смещенных от оси симметрий междурядья во внутреннюю сторону:

$$B_{к} - \left(\frac{b_{ш}}{2} + l_{з} + \Delta \right) = b_{м} n_{р} - \frac{b_{м}}{2}, \quad (2)$$

- в общем случае:

$$B_{к} \pm \left(\frac{b_{ш}}{2} + l_{з} + \Delta \right) = b_{м} n_{р} \pm \frac{b_{м}}{2}, \quad (3)$$

Разделив левую часть уравнения (3) на его правую часть получим:

$$k_{с} = \frac{B_{к} \pm \left(\frac{b_{ш}}{2} + l_{з} + \Delta \right)}{b_{м} n_{р} \pm \frac{b_{м}}{2}}. \quad (4)$$

В уравнении (4) показатель $k_{с}$ характеризует, насколько колея трактора совпадает с обрабатываемым междурядьем посевов растений. Для минимизации уплотнения почвы и предотвращения повреждения корневой зоны растений величина $k_{с}$ должна быть максимально приближена к единице. Причем следует учесть, что при $k_{с} < 1$ колесо трактора больше уплотняет зону корневой системы рядков с внутренней стороны колес, чем с внешней, если $k_{с} > 1$ – то наоборот. При $k_{с} = 1$ ко-

лесо трактора, минимально уплотняя почву, равномерно воздействует на зону корневой системы и с внешней, и внутренней сторон колес от рядков растений.

Для облегчения оценки соответствия колеи трактора с междурядьем введем понятие «степень соответствия колеи трактора с междурядьем посевов растений» (ξ):

$$\xi = (1 - |1 - k_{с}|) 100, \%, \quad (5)$$

$$\text{или } \xi = \left(\left| 1 - \frac{B_{к} \pm \left(\frac{b_{ш}}{2} + l_{з} + \Delta \right)}{b_{м} n_{р} \pm \frac{b_{м}}{2}} \right| \right) 100, \%. \quad (6)$$

Рассмотрим аналитическую зависимость (3) на примере применяемых в Республике Узбекистан при возделывании хлопчатника и сопутствующих культур основных хлопководческих (трехколесных) тракторов и типоразмеры устанавливаемых на них шин (таблица). Колея этих марок тракторов регулируется за счет переворачивания колеса и перестановки диска по ободу колеса [18, 19]. Либо если колеса не подлежат регулировке (например, у тракторов TTZ-100HC и AXOS 340X), колея трактора изменяется ступенчато или остается неизменной.

Хлопчатник возделывается на междурядьях 60, 76 и 90 см, а сопутствующие ему кукуруза, картофель, фасоль, маш и другие культуры также еще на междурядьях 70 см [16].

Анализ расчетных данных показал:

- у трактора AXOS-340X степень соответствия колеи с междурядьем 90 см составляет 98,09%, он может работать на этом размере междурядий. А при междурядье 60, 70 и 76 см степень соответствия будет 49,53; 71,02 и 79,01%, что приведет к вытаптыванию, повреждению рядков растений;

- тракторы марок МТЗ-80X и TTZ-811 могут работать на междурядьях как 60, так и 90 см, соответственно показатель ξ равен 95,46 и 94,91%. При междурядьях 70 и 76 см показатель ξ составляет 90,38 и 84,25%, поэтому растения вытаптываются или повреждаются;

- тракторы ТТЗ-60.11, ТТЗ-80.11 и ТТЗ-100К11 могут работать на междурядьях как 60, так и 90 см, степень соответствия колеи с этими междурядьями 95,46 и 94,91%. На междурядьях 70 и 76 см эти марки использовать нельзя (показатель ξ равен 90,93 и 83,75%).

На основе проведенного анализа можно отметить, что имеющиеся в парке хлопкосоющих хозяйств Узбекистана серийные тракторы обеспечивают полноценную работу только на междурядьях 60 и 90 см. Их применение на междурядьях 70 и 76 см приводит к вытаптыванию или повреждению рядков растений, и полноценная работа не обеспечивается. Потребуется либо установить проставку, либо заменить серийные полуоси с кожухами задних мостов на сменные полуоси с кожухами, специально разработанными для операций на междурядьях 70 и 76 см.



Таблица / Table							
СТЕПЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ КОЛЕИ УНИВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНЫХ ТРАКТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РЕСПУБЛИКЕ С МЕЖДУРЯДЕМ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР LEVEL OF COMPATIBILITY OF TRACK WIDTH FOR UNIVERSAL-ROW TRACTORS UTILIZED IN THE REPUBLIC WITH INTER-ROW SPACING OF AGRICULTURAL CROP PLANTINGS							
Показатель / Indicator	Марка трактора / Tractor brands						
	ТТЗ 60.11	ТТЗ 80.11	ТТЗ 100К11	МТЗ-80Х	ТТЗ-811	ТТЗ-100НС	АХОС 340Х
Колея задних колес, мм / Rear wheel track, mm	1800-2400			1900, 2400		1810	
Междурядье, см / Row spacing, cm	Ширина (марка) шины, мм / Tire width (brand), mm						
60	345 (13,6-38)			345 (13,6-38)		394 (15,5-38)	
70*	345 (13,6-38)			345 (13,6-38)		394 (15,5-38)	
70	394 (15,5-38)			394 (15,5-38)		429 (16,9R38)	
76	429 (16,9R38)			429 (16,9R38)		429 (16,9R38)	
90	429 (16,9R38)			429 (16,9R38)		467 (18,4R34)	
Междурядье, см / Row spacing, cm	Степень соответствия колеи трактора с междурядьем ξ , % Level of compatibility of tractor tracks with inter-row spacing ξ , %						
60	95,46			95,46		49,53	
70*	89,60			80,60		71,02	
70	90,93			90,38		70,03	
76	83,75			84,25		79,01	
90	99,36			94,91		98,09	
* При установке на задних колесах трактора узких шин / When narrow tires are mounted onto the tractor rear wheels							

Для устранения недостатков существующих способов регулировки колеи трактора необходимо проанализировать конструкцию известных устройств и механизмов регулировки. Затем на их основе выбрать направление для совершенствования конструкции ходовых систем тракторов и разработать техническое решение, облегчающее процесс изменения колеи без замены полуосей с кожухами задних мостов или без дополнительной установки проставок.

Выводы. Аналитическое выражение, полученное в ходе исследований, позволяет оценить степень соответствия колеи ходовой системы трактора с междурядьем обрабатываемых культур.

На основе предложенной аналитической зависимости получены расчетные данные для оценки серийных тракторов в хлопкосеющих хозяйствах Республики Узбекистан. Установлено, что они обеспечивают полноценную работу только на междурядьях 60 и 90 см.

Для устранения выявленных недостатков работа по совершенствованию ходовой системы трактора должна быть направлена на поиск технического решения, обеспечивающего изменение колеи бесступенчатым регулированием в широком диапазоне, адаптируя ее к любым междурядьям посевов сельскохозяйственных культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карапетян М.А. Воздействия движителей трактора на физические свойства почвы // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. №7. С. 50-51.
2. Николаев В.А. Изменение агрофизических свойств почвы в зависимости от уплотняющего воздействия колесных тракторов // *Земледелие*. 2015. №3. С. 24-25.
3. Устройство тракторов / Шарипов В.М., Городецкий К.И., Маринкин А.П. и др.; под ред. В.М. Шарипова. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 320 с.
4. Гольбяпин В.Я. Лучшие зарубежные тракторы // *Сельский механизатор*. 2015. №1. С. 12-13.
5. Ахметов А.А. Вопросы расширения диапазона применения колесных тракторов // *Научно-технический журнал «Ирригация и мелиорация»*. 2018. №1(11). С. 55-59.
6. Махмутов М.М., Заикина И.В., Гаджиев П.И. Снижение вредного воздействия тракторных колесных движителей на переувлажненную почву // *Тракторы и сельхозмашины*. Т. 7. 2010. №9. С. 33-35.
7. Щитов С.В., Тихончук П.В., Спириданчук Н.В. Техногенное воздействие на почву колесных тракторов // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. №6. С. 73-74.
8. Золотаревская Д.И. Исследование и расчет уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора // *Тракторы и сельхозмашины*. Т. 83. 2016. №8. С. 33-38.
9. Слюсаренко В.В., Русинов А.В., Федюнина Т.В. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на урожай сельскохозяйственных культур // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. №3. Ч. 3. С. 120-122.
10. Тарасенко А.П. Влияние числа проходов трактора по полю на урожайность люцерны // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*.

- фикация сельского хозяйства. 2007. N5. С. 6-7.
11. Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Станкевич Э.Б. и др. Идентификация шин по эксплуатационным показателям // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2007. N7. С. 16-19.
 12. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Kambarova D.U. Analyses of the correspondence of the track of serial wheeled tractors to various row spacing of cotton crops. *Harvard Educational and Scientific Review*. Vol. 2. N1. 188-192.
 13. Гапич Д.С., Кузнецов Н.Г., Косульников Р.А., Панчишкин А.П. Технологическая адаптация тракторов к зональным условиям эксплуатации // *Сельский механизатор*. 2019. N7. С. 4-5.
 14. Камбаров Б.А., Тухтабаев М.А. К вопросу о взаимосвязи размеров шин движителей хлопководческого трактора с защитными зонами МТА // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N5. С. 39-41.
 15. Бычков Н.И., Князев Д.А. Оценка агротехнологической вписываемости сельскохозяйственных тракторов // *Тракторы и сельскохозяйственный транспорт. Научные труды ВИМ*. Т. 137. 2000. С. 118-129.
 16. Типовые технологические карты по уходу за сельскохозяйственными культурами и выращиванию продукции на 2016-2020 годы (часть 1). Минсельхоз РУз. Ташкент. НИИЭСХ. 2016. 136 с.
 17. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Экспериментальное исследование характеристик тракторных пневматических шин // *Тракторы и сельхозмашины*. Т. 84. 2017. N11. С. 40-48.
 18. Белоконов Я.Е., Окоча А.И., Шкаровский Г.В. Тракторы «Беларус» семейств МТЗ и ЮМЗ. Устройство, работа, техническое обслуживание. Минск: ПКФ Ранок, 2003. 259 с.
 19. Шаров В.В. Колесный трактор Т-40 // *Сельский механизатор*. 2015. N5. С. 16-17.
 20. Michael W. Marshall, Ahmad Khalilian. Effects of Tillage and Planting Methods on Narrow and Wide Row Cotton Production. *Agricultural Sciences*. 2018. N9. 792-803.

REFERENCES

1. Karapetyan M.A. Vozdeystviya dvizhiteley traktora na fizicheskie svoystva pochvy [Impacts of tractor propulsors on the soil physical properties]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2008. N7. 50-51 (In Russian).
2. Nikolaev V.A. Izmenenie agrofizicheskikh svoystv pochvy v zavisimosti ot uplotnyayushchego vozdeystviya kolesnykh traktorov [Modification of agrophysical soil properties depending on the condensing influence of wheel tractors]. *Zemledelie*. 2015. N3. 24-25 (In Russian).
3. Sharipov V.M., Gorodetskiy K.I., Marinkin A.P., et al. Ustroystvo traktorov [Tractor design]. Moscow: MGТУ «МАМИ», 2007. 320 (In Russian).
4. Gol'tyapin V.Ya. Luchshie zarubezhnye traktory [Best foreign tractors]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2015. N1. 12-13 (In Russian).
5. Akhmetov A.A. Voprosy rasshireniya diapazona primeneniya kolesnykh traktorov [Questions to expand the range of application wheel tractors]. *Nauchno-tekhnichestkiy zhurnal «Irrigatsiya i melioratsiya»*. 2018. N1(11). 55-59 (In Russian).
6. Makhmutov M.M., Zaikina I.V., Gadzhiev P.I. Snizhenie vrednogo vozdeystviya traktornykh kolesnykh dvizhiteley na pereuvlazhnennuyu pochvu [Reducing the harmful effects of tractor wheel thrusters on waterlogged soil]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010. Vol. 7. N9. 33-35 (In Russian).
7. Shchitov S.V., Tikhonchuk P.V., Spiridanchuk N.V. Tekhnogennoe vozdeystvie na pochvu kolesnykh traktorov [Anthropogenic impact on soil by wheeled tractors]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2012. N6. 73-74 (In Russian).
8. Zolotarevskaya D.I. Issledovanie i raschet uplotneniya pochvy pri rabote i posle ostanovki kolesnogo traktora [Study and calculation of soil compaction during operation and after stopping of a wheeled tractor]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. Vol. 83. N8. 33-38 (In Russian).
9. Slyusarenko V.V., Rusinov A.V., Fedyunina T.V. Vliyaniye dvizhiteley mashinno-traktornykh agregatov na urozhay sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The influence of the propulsion of tractors and machines to harvest crops]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016. N3. Ch. 3. 120-122 (In Russian).
10. Tarasenko A.P. Vliyaniye chisla prokhodov traktora po polyu na urozhaynost' lyutserny [Influence of the number of tractor passes across the field on alfalfa yield]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2007. N5. 6-7.
11. Goncharenko S.V., Godzhaev Z.A., Stankevich E.B. et al. Identifikatsiya shin po ekspluatatsionnym pokazatelyam [Identification of tires by operational indicators]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2007. N7. 16-19 (In Russian).
12. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Kambarova D.U. Analyses of the correspondence of the track of serial wheeled tractors to various row spacing of cotton crops. *Harvard Educational and Scientific Review*. Vol. 2. N1. 188-192 (In English).
13. Gapich D.S., Kuznetsov N.G., Kosul'nikov R.A., Panchishkin A.P. Tekhnologicheskaya adaptatsiya traktorov k zonal'nym usloviyam ekspluatatsii [Tractor technological adaptation to zonal operating conditions]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2019. N7. 4-5 (In Russian).
14. Kambarov B.A., Tukhtabaev M.A. K voprosu o vzaimosvyazi razmerov shin dvizhiteley khlopkovodcheskogo traktora s zashchitnymi zonami MTA [Revised interrelationship of the tires sizes of cotton-growing tractor propellers with protective zones of the machine-tractor aggregate]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014. N5. 39-41 (In Russian).
15. Bychkov N.I., Knyazev D.A. Otsenka agrotekhnologicheskoy vpyisyvaemosti sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Evaluation of agrotechnological fit of agricultural tractors]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyy transport. Nauchnye trudy*



- VIM. 2000. Vol. 137. 118-129 (In Russian).
16. Tipovye tekhnologicheskie karty po ukhodu za sel'skokozyaystvennymi kul'turami i vyrashchivaniyu produktsii na 2016-2020 gody (chast' 1) [Standard technological maps for the care of agricultural crops and the cultivation of products for 2016-2020 (part I)]. Minsel'khos RUz. Tashkent: NIIESKH. 2016. 136 (In Russian).
17. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Eksperimental'noe issledovanie kharakteristik traktornykh pnevmaticheskikh shin [Experimental study of the characteristics of tractor pneumatic tires]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. Vol. 84. N11. 40-48 (In Russian).
18. Belokon' Ya.E., Okocha A.I., Shkarovskiy G.V. Traktory «Belarus» semeystv MTZ i YUMZ. Ustroystvo, rabota, tekhnicheskoe obsluzhivanie [Belarus tractors of the MTZ and YuMZ types. Design, operation, maintenance]. Minsk: PKF Ranok, 2003. 259 (In Russian).
19. Sharov V.V. Kolesnyy traktor T-40 [Wheel tractor T-40]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2015. N5. 16-17 (In Russian).
20. Marshall M.W., Khalilian A. Effects of Tillage and Planting Methods on Narrow and Wide Row Cotton Production. *Agricultural Sciences*. 2018. N9. 792-803 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Ахметов А.А. – постановка проблемы, разработка теоретической части, формулировка и развитие ключевых целей и задач;
 Камбаров Б.А. – критический анализ литературы, подготовка и редактирование текста, формирование выводов исследования;
 Камбарова Д.У. – сбор статистических данных, описание результатов;
 Султанов Ж.А. – участие в научном дизайне, табличное и графическое представление результатов.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Akhmetov A.A. – problem statement, development of the theoretical part, formulation and development of the key goals and objectives;
 Kambarov B.A. – literature critical analysis, manuscript preparation and editing, formulation of research conclusions;
 Kambarova D.U. – statistical data collection, description of the results;
 Sultanov Z.A. – scientific design, tabular and graphical representation of the results.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

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

07.07.2023
 29.08.2023

Разработка сменного ковша с дополнительным захватом для каналоочистителя ОКН-0,5

Хамзат Арсланбекович Абдулмажидов,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: abdulmajidov@rgau-msha.ru;

Виктор Иванович Балабанов,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru;

Михаил Вячеславович Карпов,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: carpov.mikhail@rgau-msha.ru

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

Реферат. Обосновали необходимость создания новых сменных рабочих органов мелиоративного каналоочистителя ОКН-0,5. Отметим значение и особенности применения ковшовых рабочих органов с учетом того, что состояние каналов мелиоративных осушительных систем характеризуется наличием наносов, заилений, травянистой и кустарниковой растительности. (*Цель исследования*) Изучить процесс очистки дна и откосов каналов с помощью разработанного сменного ковша. (*Материалы и методы*) Предложили уширенную конструкцию сепарированного ковша с дополнительным захватом. (*Результаты и обсуждение*) На основе выполненных расчетов определили ширину ковша, размеры дополнительного захвата, усилия, прилагаемые к ковшу при разработке наносов и заилений, а также производительность машины. Сформировали объемную модель-сборку предлагаемого рабочего органа с дополнительным захватом в графическом пакете Inventor Pro. Провели прочностные расчеты методом конечных элементов нового ковшевого устройства с дополнительным захватом, определили запас прочности конструкции. С учетом утяжеления ковша за счет дополнительного захвата с отдельным гидроприводом рассчитана устойчивость каналоочистителя с помощью мини-программы, сформированной в системе *Mathcad*. (*Выводы*) Обосновали ширину 2000 миллиметров ковша и необходимость разработки дополнительного захвата с гидравлическим приводом. Предлагаемая конструкция необходима для фиксации в ковше наносов, травянистой и кустарниковой растительности до момента их выгрузки на берму. По технико-эксплуатационным показателям каналоочиститель относится к машинам позиционного периодического действия. Эксплуатационная производительность каналоочистителя может достигать 180-330 метров в час. Выявили критерии для качественной очистки осушительных мелиоративных каналов глубиной до 2,5 метра.

Ключевые слова: очистка мелиоративных каналов, наносы, заиления, травянистая и кустарниковая растительность, пропускная способность канала, ковш каналоочистителя.

■ **Для цитирования:** Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И., Карпов М.В. Разработка сменного ковшевого рабочего органа с дополнительным захватом для каналоочистителя ОКН-0,5 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т.17. №3. С. 54-60. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-54-60. EDN VCPLZJ.

Development of a Replaceable Bucket with an Additional Gripper for OKN-0.5 Reclamation Canal Cleaner

Khamzat A. Abdulmashidov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: abdulmajidov@rgau-msha.ru;

Viktor I. Balabanov,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru;

Mikhail V. Karpov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: carpov.mikhail@rgau-msha.ru

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

Abstract. The paper substantiates the necessity of developing new replaceable working bodies for the OKN-0.5 reclamation canal cleaner. The study emphasizes the significance and application features of bucket working bodies, considering the prevalent conditions of reclamation drainage canals, which often contain sediment, silting, and various types of vegetation. (*Research*

purpose) The research objective is to investigate the process of cleaning the channel bottom and slopes using the proposed replaceable bucket. (*Materials and methods*) The paper proposes an enhanced design of a replaceable bucket with an additional gripper. (*Results and discussion*) The paper outlines the calculations conducted to determine the appropriate bucket width, dimensions of the additional gripper, the forces involved in clearing sediments and silting, and the machine's working capacity. A comprehensive three-dimensional model of the proposed working body with the additional gripper was created using *Inventor Pro* graphics package. Additionally, the bucket's structural strength was evaluated through finite element method calculations. The canal cleaner's stability was assessed with the inclusion of a separate hydraulic drive for the additional gripper, utilizing a mini-program generated in the *Mathcad* system. (*Conclusions*) The conclusions drawn from the study recommend a bucket width of 2000 millimeters and the development of an additional gripper with a hydraulic drive. The proposed design proves essential for securing sediments, grassy, and shrubby vegetation in the bucket until they can be efficiently unloaded onto the berm. Based on technical and operational data, the canal cleaner belongs to machines of positional periodic action, with a working capacity of 180-330 meters per hour. The research also identifies criteria for achieving high-quality cleaning of reclamation drainage canals up to 2.5 meters deep.

Keywords: reclamation canal cleaning, sediments, silting, herbaceous and shrub vegetation, canal capacity, canal cleaner bucket.

For citation: Abdulmazhidov Kh.A., Balabanov V.I., Karpov M.V. Razrabotka smennogo kovsha s dopolnitel'nym zakhvatom dlya kanaloochistitelya OKN-0,5 [Development of a replaceable bucket with an additional gripper for OKN-0.5 reclamation canal cleaner]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 54-60 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-54-60. EDN VCPLZJ.

Согласно Постановлению Правительства РФ «О Государственной программе эффективно-го вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» в 2022-2031 годы планируется осуществить комплекс мероприятий по повышению технико-экономических показателей основных средств или их отдельных частей на базе внедрения передовой техники и технологии, механизации и автоматизации производства, модернизации и замены морально устаревшего и физически изношенного оборудования новым более производительным.

Длительная эксплуатация мелиоративных систем требует их поддержания в функциональном состоянии, проведения текущих и капитальных ремонтов. Необходимость восстановительных работ обусловлена формированием наносов, заилений, растительности на дне и откосах наиболее распространенных трапециевидных осушительных каналов [1, 2]. Наносы уменьшают площадь поперечного сечения, соответственно пропускную способность канала, кроме того, его глубина рассчитывается с учетом отвода излишней влаги с территории осушаемых земель [3-5].

Для очистки мелиоративных систем применяется каналоочиститель периодического позиционного действия ОКН-0,5 на базе пневмоколесного трактора Беларус-1221 с окашивающими, ковшовыми и фрезерными сменными рабочими органами. Очистные работы на каналах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с использованием ОКН-0,5 проводились с октября по ноябрь 2022 года (рис. 1). При их выполнении выявили недостатки ковшового оборудования, касающиеся выпадения из ковша извлеченных наносов и особенно травяной и кустарниковой растительности



Рис. 1. Каналоочиститель ОКН-0,5 в процессе работы
Fig. 1. OKN-0.5 canal cleaner in operation

до их разгрузки на берме. Кроме того, цилиндрическое опорное колесо с гладкой поверхностью не всегда удерживает трактор от скольжения по берме и частично по откосу.

Цель исследования – изучение процесса очистки дна и откосов каналов с помощью предлагаемого уширенного ковша с дополнительным захватом для удержания наносов, травяной и кустарниковой растительности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исходными данными служили результаты очистных мероприятий на мелиоративной системе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, проведенные осенью 2022 года, которые показали необходимость удаления из русла канала не только заилений и наносов, но и травянистой растительности [6-8]. На их основе на кафедре организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова (РГАУ-МСХА) в системе *Inventor Pro* разработана конструкция сепарированного ковша увеличенной ширины с захватом (рис. 2).

Ковш представляет собой металлическую емкость

криволинейной формы, внутри имеются ребра жесткости. С целью повышения производительности [9-11] ковш изготовлен большей ширины – 2000 мм, чем базовый вариант (1690 мм). Большая ширина ковша позволяет уменьшать количество переездов с одной позиции на другую. В то же время ограничение ширины связано с прочностью конструкции, обеспечением устойчивости машины при работе и компактности при передвижении.

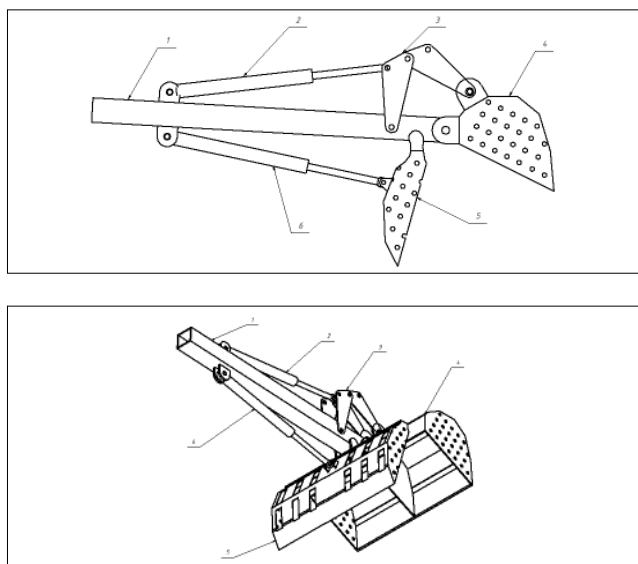


Рис. 2. Уширенный ковш с дополнительным захватом: 1 – рукоять; 2 – гидроцилиндр поворота ковша; 3 – толкатели; 4 – ковш; 5 – захват; 6 – гидроцилиндр поворота захвата
 Fig. 2. A broadened bucket with an additional gripper: 1 – handle; 2 – hydraulic cylinder for turning the bucket; 3 – pushers; 4 – bucket; 5 – gripper; 6 – hydraulic cylinder for turning the gripper

Предлагаемый ковшовый рабочий орган является сменным устройством к рабочему оборудованию каналаочистителя. Рабочее оборудование каналаочистителя включает в себя основную раму, механизм поворота и стрелу. Рукоять 1 с ковшом 4 и дополнительным захватом 5 с гидравлическим приводом посредством цилиндрических осей через проушины шарнирно соединена со стрелой боковой навески мелиоративного каналаочистителя. С помощью стрелы рукоять 1 с ковшом 4 и открытым захватом 5 опускается на дно канала, при движении в сторону базовой машины снимается слой наносов, заилений и подрезается травостой. К концу движения ковша на откосе посредством гидроцилиндра 6 захват закрывается, предотвращая выпадение содержимого. Ковш поднимают, поворачивают к месту выгрузки на берме, где ковш и захват открываются посредством гидроцилиндров 2, 6 и толкателей 3. Далее рабочее оборудование поворачивается в исходное положение и цикл повторяется. По режиму работы конструкция рассматривается как устройство периодического действия.

Устройство предлагается в качестве сменного ра-

бочего оборудования для каналаочистителя. По сравнению с прототипом оно позволит качественно и с высокой производительностью проводить очистку дна и откосов мелиоративных каналов без необходимости дополнительного подбора осыпавшихся из ковша наносов и растительности.

Состояние мелиоративных каналов до очистных работ представлено на рисунке 3.

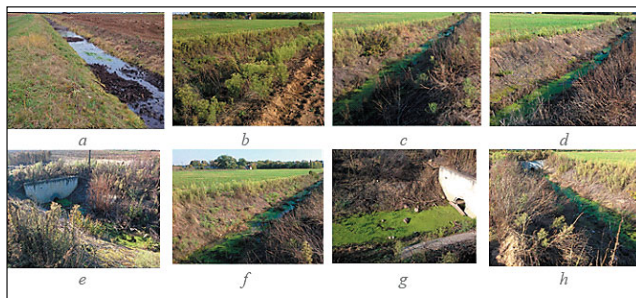


Рис. 3. Мелиоративный канал до очистки: а – наносы, заиления и торф; б – травянистая растительность; в – мелкий кустарник; д – дефекты откосов и берм; е – гидротехнические сооружения; ф – наносы и заиления на дне; г – мусор и посторонние предметы; х – зарастание берм и откосов

Fig. 3. Reclamation canals before cleaning: a – sediment, silt and peat; b – herbaceous vegetation; c – small shrubs; d – defects in slopes and berms; e – hydraulic structures; f – sediment and silt on the bottom; g – debris and foreign objects; h – overgrowing of berms and slopes

Проведен прочностной расчет дополнительного захвата в системе *Inventor Pro*. Анализ напряженно-го состояния конструкции выполнялся методом конечных элементов по следующей схеме:

1. Создание объемной твердотельной конструкции с помощью средств редактирования эскизов графического пакета (выдавливание, вращение, изгиб, оболочка, лфтинг);
2. Задание материала конструкции с определением масс-инерционных характеристик;
3. Определение граничных условий фиксации, т.е. задание опорных составляющих;
4. Установление сосредоточенных или распределенных нагрузок, или моментов в определенных точках и заданной величины;
5. Создание конечно-элементной сетки, т.е. разбивка конструкции на конечные элементы – тетраэдры;
6. Выполнение расчета по определению возникающих в конструкции напряжений, деформаций и смещений;
7. Формирование отчета по результатам исследований.

Отчет по исследованию напряженного состояния содержит таблицы и гистограммы определяемых характеристик. Расчетным показателем, на основании которого принимается решение о применении кон-

струкции, является запас прочности n . Обычно для стальных конструкций запас прочности находится в пределах от 1,5 до 2 единиц, чугунных – от 2 до 2,5. Для элементов и конструкций грузоподъемных машин этот показатель может достигать 13 единиц. Запас прочности стальных конструкций более 2 единиц означает повышенный расход металла, а он если менее 1,5 единиц, то конструкция не выдерживает нагрузку [12, 13].

Возможны случаи, когда запас прочности в допустимых пределах, но близок к минимальному значению, тогда требуется уточненный расчет конструкции [14, 15]. Сущность расчета заключается в разбивке нагруженного участка конструкции на тетраэдры более мелких размеров. При уточненном расчете размеры объемной конструкций, материал, опорные плоскости, величины и точки приложения нагрузок остаются без изменений.

На рисунке 4 представлены базовая конструкция дополнительного захвата к ковшу каналоочистителя и анализ напряженного состояния. По гистограмме можно определить участки с максимальными напряжениями. В основном они возникают на угловых поверхностях. При величине нагрузки 3500 Н, принятой на основании максимальных значений массы материалов, удерживаемых в ковше, запас прочности составляет 1,77 единицы, вполне допустимый для стальных конструкций.

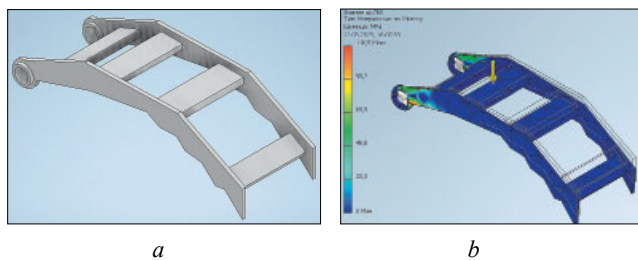


Рис. 4. Основа конструкции дополнительного захвата: а – объемный изометрический вид; б – конечно-элементная сетка, гистограмма анализа напряжений

Fig. 4. The basis of the additional gripper design: a – isometric view; b – finite element grid, stress analysis histogram

В связи с утяжелением ковша с дополнительным захватом и отдельным гидроприводом определяли устойчивость каналоочистителя с учетом всех действующих сил (рис. 5) с помощью мини-программы, сформированной в системе Mathcad (рис. 6).

Устойчивость машины определена для наиболее опасного случая, т.е. при максимальном вылете стрелы [16]. В течение всего цикла работы извлеченные ковшем наносы и растительность удерживаются и исключена возможность их высыпания.

В данном примере заданы величины всех восстанавливающих моментов относительно точки опрокидывания O и всех опрокидывающих моментов (Gtr –

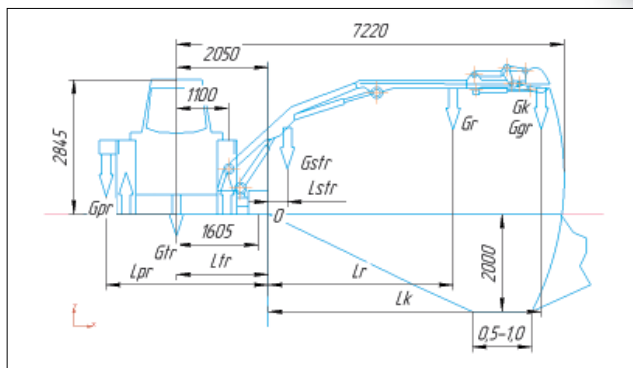


Рис. 5. Расчетная схема для определения устойчивости каналоочистителя

Fig. 5. Design model for determining the stability of a ditch cleaner

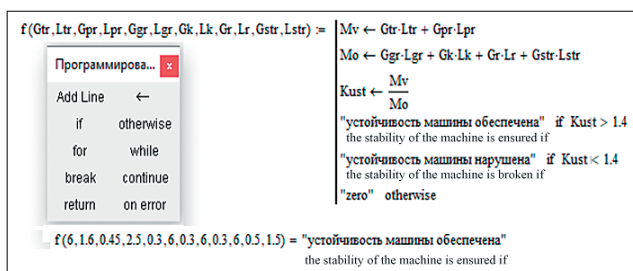


Рис. 6. Листинг мини-программы для расчета устойчивости каналоочистителя в системе Mathcad

Fig. 6. Listing of a mini-program for calculating the stability of a canal cleaner in the Mathcad system

сила тяжести трактора; Ltr – плечо действия силы тяжести трактора; Gpr – сила тяжести противовеса; Lpr – плечо действия силы тяжести; Ggr – сила тяжести грунта; Lgr – плечо действия силы тяжести грунта; Gk – сила тяжести ковша с дополнительным захватом; Lk – плечо действия силы тяжести ковша и захвата; Gr – сила тяжести рукояти; Lr – плечо действия силы тяжести рукояти; $Gstr$ – сила тяжести стрелы; $Lstr$ – плечо действия силы тяжести стрелы; Mv – восстанавливающий момент; Mo – опрокидывающий момент; $Kust$ – коэффициент устойчивости машины).

В целом восстанавливающие моменты определены суммой произведения сил тяжести трактора на плечо ее действия и произведения величины силы тяжести противовеса на плечо ее действия. Аналогично определена величина опрокидывающих моментов, создаваемых весом ковша с грунтом (наносами) и весом дополнительного захвата, рукояти и стрелы. Переменными величинами являются вес наносов в ковше, а также плечо действия сил элементов рабочего оборудования [17-20].

Производительность каналоочистителя, ковшовой орган которого снабжен дополнительным захватом, как машины периодического позиционного действия, перемещающейся позиционно по берме параллельно оси канала, определяется по формуле:

$$П = q \cdot n \cdot \frac{K_n K_B}{K_p}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где K_n – коэффициент наполнения ковша. При исполь-

зовании дополнительного захвата может достигать 1,25;

K_b – коэффициент использования машины по времени. Изменяется в пределах от 0,65 до 0,85;

K_p – коэффициент разрыхления разрабатываемого грунта, наносов и заилений B в зависимости от влажности материала на дне и откосах каналов может составлять от 1,0 до 1,05;

q – вместимость ковша, m^3 ;

n – число циклов в час.

$$n = 3600/T_{\text{ц}} = 3600/(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6),$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с;

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 и t_6 – соответственно длительность опускания ковша на дно канала, срезания наносов и заилений (наполнение ковша), подъема ковша на требуемую высоту, поворота к берме канала, выгрузки содержимого ковша, передвижения машины на новую позицию.

Для исследуемого рабочего органа число циклов

$$n = 3600/T_{\text{ц}} = 3600/(6 + 9 + 4 + 4 + 4 + 20) = 76,6 \text{ с.}$$

Основным преимуществом предлагаемого ковша по сравнению с базовым является возможность удержания наносов, заилений и главным образом травянистой и мелкокустарниковой растительности в ковше до момента выгрузки за счет дополнительного захвата. Такая конструкция исключает затраты времени на повторный подбор высыпавшихся из ковша извлеченных из русла наносов и растительности. Про-

должительность цикла работы каналаочистителя в зависимости от квалификации машиниста может быть в пределах от 40 до 55 секунд. Производительность при очистке каналов без крепления дна и откосов с ковшем вместимостью $0,32 m^3$ с учетом коэффициентов использования по времени, наполнения ковша и реальных условий эксплуатации составляет 20-25 $m^3/ч$, или 180-330 погонных метров длины канала в час.

Выводы. С целью улучшения качества очистки мелиоративных осушительных каналов без дна и откосов разработаны новые конструкции исполнительных органов и техническая документация к ним. Для очистки от наносов, заилений, травяной и кустарниковой растительности предложен ковш с дополнительным захватом. Расчет элементов захвата показывает достаточный запас прочности при работе. Статический расчет с использованием мини-программы, сформированной в системе *Mathcad*, показал устойчивую работу каналаочистителя с усовершенствованным сменным ковшевым устройством.

Наличие дополнительного захвата обеспечивает повышение эффективности работы при очистке русла каналов. За счет удержания при повороте ковша извлеченных наносов, заилений, растительности до момента их выгрузки на берме производительность машины может быть увеличена на 30% по сравнению с базовым вариантом.

Устройство предлагается в качестве сменного рабочего оборудования для каналаочистителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Кирейчева Л.В. Сельскохозяйственная мелиорация как прием повышения продуктивности и устойчивости агропроизводства // *Агротехнический вестник*. 2022. №5. С. 40-44.
- Грищенко В.В. Исследование процесса резания и удаления измельченной растительности комбинированным режущим аппаратом косилки // *Modern Science*. 2020. №8-1. С. 364-370.
- Погодин Н.Н., Анженков А.С., Болбышко В.А. Мало затратная технология очистки от заиления приустьевой части коллекторной сети и водопропускных сооружений // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2018. №4. С. 43-46.
- Тищенко А.И. Определение предельного значения усилия водного потока, способствующего образованию местных деформаций в руслах мелиоративных каналов // *Экология и водное хозяйство*. 2020. №2(5). С. 138-154.
- Тищенко А.И. Рекомендации по повышению надежности работы дамб мелиоративных каналов и продлению срока их службы // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2020. №1(77). С. 136-142.
- Миронов А.В., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Ступин О.А. Аппаратные средства нивелирования при разработке и очистке мелиоративных каналов // *Агроинженерия*. 2021. №5(105). С. 36-41.
- Маркин В.Н. Точная мелиорация как средство сохранения плодородия почв // *Природообустройство*. 2021. №4. С. 6-14.
- Касьянов А.Е. Инновационная, точная, цифровая мелиорация // *Природообустройство*. 2020. №1. С. 54-58.
- Афанасьев В.И. О состоянии и эффективном развитии мелиорации сельскохозяйственных земель в Российской Федерации // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2018. №9(42). С. 83-86.
- Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2019. №1. С. 6-9.
- Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Состояние оросительных каналов Саратовского Заволжья и пути повышения их эффективности // *Аграрный научный журнал*. 2020. №4. С. 68-70.
- Теловов Н.К., Абдулмажидов Х.А. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени*

- В.П. Горячкина». 2019. N3(91). С. 22-27.
13. Карпов М.В., Шардина Г.Е., Жиздюк А.А., Шаповалов А.Г. Исследование эффективности и экономическая оценка применения разработанной картофелепосадочной машины // *Nauchnaya zhizn'*. 2018. N3. С. 19-27.
 14. Филиппова Т.С., Таженова Г.Д., Михайлов В.Ф., Филиппова В.А. Вероятностная модель силы резания на резаках исполнительного органа с переменными параметрами резания // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2019. Т. 19. N3. С. 68-78.
 15. Тойгамбаев С.К., Гузалов А.С. Проектирование передвижного канавного гидроподъемника для проведения ремонтных работ // *Международный технико-экономический журнал*. 2020. N4. С. 38-44.
 16. Абдулмажидов Х.А. Исследование факторов, влияющих на устойчивость каналаочистителя с ковшем на жестких направляющих // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2020. N1(95). С. 35-40.
 17. Шекихачев Ю.А., Магомедов Ф.М. Математическое моделирование процесса удаления растительности при проведении мелиоративных работ // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета имени В.М. Кокова*. 2022. N2(36). С. 118-127.
 18. Курбатов Н.П. Оценка эффективности работы мелиоративного канала // *Научный альманах*. 2020. N11-3(73). С. 51-54.
 19. Abdulmazhidov Kh. Analysis of the reclamation canal condition and cleaning methods. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems* (ITEEA 2021). Nalchik, 2021. 01001.
 20. Abdulmazhidov, Kh. Analysis of drainage canal defects and review of canal cleaner designs]. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems* (ITEEA 2021). Nalchik, 2021. 01002.

REFERENCES

1. Kireycheva L.V. Sel'skokhozyaystvennaya melioratsiya kak priem povysheniya produktivnosti i ustoychivosti agroproduktivnosti [Agricultural reclaim as a method of increasing productivity and sustainability of agricultural production]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022. N5. 40-44 (In Russian).
2. Grishchenko V.V. Issledovanie protsessa rezaniya i udaleniya izmel'chennoy rastitel'nosti kombinirovannym rezhuschim apparatom kosilki [Study of the process of cutting and removing chopped vegetation with a combined mower cutting device]. *Modern Science*. 2020. N8-1. 364-370 (In Russian).
3. Pogodin N.N., Anzhenkov A.S., Bolbyshko V.A. Malozatratnaya tekhnologiya ochistki ot zaileniya priust'evoy chasti kollektornoy seti i vodopropusknykh sooruzheniy [Low-cost technology of cleaning from siltation of the mouth of the collector network and culverts]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2018. N4. 43-46 (In Russian).
4. Tishchenko A.I. Opredeleniye predel'nogo znacheniya usiliya vodnogo potoka, sposobstvuyushchego obrazovaniyu mestnykh deformatsiy v ruslakh meliorativnykh kanalov [Determining the limit value of the water flow force contributing to the formation of local deformations in reclamation channel beds]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*. 2020. N2(5). 138-154 (In Russian).
5. Tishchenko A.I. Rekomendatsii po povysheniyu nadezhnosti raboty damb meliorativnykh kanalov i prodleniyu sroka ikh sluzhby [Recommendations for improving the reliability of the reclamation canal dams and extending their service life]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2020. N1(77). 136-142 (In Russian).
6. Mironov A.V., Apatenko A.S., Sevryugina N.S., Stupin O.A. Apparatsnye sredstva nivelirovaniya pri razrabotke i ochistke meliorativnykh kanalov [Leveling implements used for developing and cleaning reclamation canals]. *Agroinzheneriya*. 2021. N 5(105). 36-41 (In Russian).
7. Markin V.N. Tochnaya melioratsiya kak sredstvo sokhraneniya plodorodiya pochv [Precise land reclamation as a means of preserving soil fertility]. *Prirodoobustroystvo*. 2021. N4. 6-14 (In Russian).
8. Kas'yanov A.E. Innovatsionnaya, tochnaya, tsifrovaya melioratsiya [Innovative, accurate, digital land reclamation]. *Prirodoobustroystvo*. 2020. N1. 54-58 (In Russian).
9. Afanas'ev V.I. O sostoyanii i effektivnom razvitii melioratsii sel'skokhozyaystvennykh zemel' v Rossiyskoy Federatsii [Status and effective use of land reclamation in the Russian Federation]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2018. N9(42). 83-86 (In Russian).
10. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A. Intensifikatsiya meliorativnogo proizvodstva putem sovershenstvovaniya tekhnologiy rekonstruktsii i stroitel'stva orositel'nykh kanalov [Intensification of land reclamation production due to improvement of technologies of reconstruction and construction of irrigation canals]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2019. N1. 6-9 (In Russian).
11. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Sostoyanie orositel'nykh kanalov saratovskogo zavolzh'ya i puti povysheniya ikh effektivnosti [State of irrigation canals of the Saratov Volga region and ways to increase their efficiency]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2020. N4. 68-70 (In Russian).
12. Telovov N.K., Abdulmazhidov Kh.A. Eksperimental'nye issledovaniya fizicheskoy modeli rabocheho organa dvukhurovnevoogo glubokorykhlytelya [Experimental studies of the physical model of the two-level subsoiler working body]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2019. N3(91). 22-27 (In Russian).
13. Karpov M.V., Shardina G.E., Zhizdyuk A.A., Shapovalov A.G.

- Issledovanie effektivnosti i ekonomicheskaya otsenka primeniya razrabotannoy kartofeleposadochnoy mashiny [Investigation of efficiency and economic evaluation of the proposed potato planting machine application]. *Nauchnaya zhizn'*. 2018. N3. 19-27 (In Russian).
14. Filippova T.S., Tazhenova G.D., Mikhaylov V.F., Filippova V.A. Veroyatnostnaya model' sily rezaniya na reztsakh ispolnitel'nogo organa s peremennymi parametrami rezaniya [Probability model of cutting effort on the cutters of the executive body with variable cutting parameters]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye*. 2019. Vol. 19. N3. 68-78 (In Russian).
 15. Toygambaev S.K., Guzalov A.S. Proektirovaniye peredvizhnogo kanavnogo gidropodyemnika dlya provedeniya remontnykh rabot [Design of a mobile ditch hydraulic lift for repair work]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*. 2020. N4. 38-44 (In Russian).
 16. Abdulmazhidov Kh.A. Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na ustoychivost' kanaloochistitelya s kovshom na zhestkikh napravlyayushchikh [Study of factors that affect the stability of the bucket canal cleaner on rigid guides]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2020. N1(95). 35-40 (In Russian).
 17. Shekikhachev Yu.A., Magomedov F.M. Matematicheskoe modelirovaniye protsessa udaleniya rastitel'nosti pri provedenii meliorativnykh rabot [Mathematical modeling of the process of vegetation removal during reclaim work]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni V.M. Kokova*. 2022. N2(36). 118-127 (In Russian).
 18. Kurbatov N.P. Otsenka effektivnosti raboty meliorativnogo kanala [Zoning of agricultural areas in the area of insufficient moisture]. *Nauchnyy al'manakh*. 2020. N11-3(73). 51-54 (In Russian).
 19. Abdulmazhidov Kh. Analysis of the reclamation canal condition and cleaning methods. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021)*. Nalchik. 2021. 01001 (In English).
 20. Abdulmazhidov Kh. Analysis of drainage canal defects and review of canal cleaner designs. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021)*. Nalchik. 2021. 01002 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Абдулмажидов Х.А. – формулирование основных направлений исследования, проведение экспериментального исследования, формирование текста;
 Балабанов В.И. – литературный анализ, проведение экспериментального исследования, обработка результатов исследования;
 Карпов М.В. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Abdulmazhidov K.A. – formulating the main research directions, conducting an experimental study, working on the paper manuscript;
 Balabanov V.I. – literature review, conducting an experimental study, processing the research findings;
 Carпов M.V. – literature review, processing the research findings, working on 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

03.07.2023
 16.08.2023

Моделирование случайных процессов, обусловленных профилем опорной поверхности транспортно-технологических средств

Юрий Петрович Корнюшин¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: theroland@yandex.ru;
Александр Владимирович Лавров²,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
e-mail: vimlavrov@mail.ru;

Анастасия Владимировна Сидорова¹,
аспирант,
e-mail: nancy85@yandex.ru

¹Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Калуга, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что сельскохозяйственные транспортно-технологические средства в процессе выполнения работ подвергаются внешним случайным воздействиям. Описание и моделирование этих воздействий позволит улучшить эксплуатационные показатели средства на этапах исследования и проектирования. (*Цель исследования*) Формирование случайных процессов с заданными корреляционными функциями, обусловленных профилем опорной поверхности под колесами транспортно-технологического средства при выполнении операций; визуализация полученных случайных реализаций высоты профиля опорной поверхности. (*Материалы и методы*) Изменение высоты профиля опорной поверхности вдоль траектории движения транспортно-технологического средства при постоянной скорости предложено рассматривать как стационарный случайный процесс. В зависимости от типа опорной поверхности выбираются вид и параметры корреляционной функции. Далее в среде *Matlab* осуществляется моделирование высоты профиля опорной поверхности под колесами. (*Результаты и обсуждение*) Получены реализации высоты профиля опорной поверхности в виде асфальта и стерни пшеницы. Проведено сравнение корреляционной функции смоделированной реализации случайного процесса с исходной корреляционной функцией. (*Выводы*) Установили, что предложенный алгоритм позволяет получить случайный процесс с заданными свойствами корреляционной функции для описания колебаний высоты профиля опорной поверхности под колесами транспортно-технологического средства с достаточно высокой степенью адекватности, используя массив реализаций в количестве не менее 50.

Ключевые слова: транспортно-технологические средства, опорная поверхность, внешние воздействия, моделирование случайных процессов, корреляционная функция.

■ Для цитирования: Корнюшин Ю.П., Лавров А.В., Сидорова А.В. Моделирование случайных процессов, обусловленных профилем опорной поверхности транспортно-технологических средств // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 61-66. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-61-66. EDN OYCEFL.

Modeling Random Processes Induced by the Support Surface Profile in Transport and Technological Systems

Yuri P. Korniyushin¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: theroland@yandex.ru;
Alexander V. Lavrov²,
Ph.D.(Eng.), head of laboratory,
e-mail: vimlavrov@mail.ru;

Anastasia V. Sidorova¹,
postgraduated,
e-mail: nancy85@yandex.ru

¹Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The research article demonstrates that agricultural transport and technological systems are susceptible to external random influences during their operation. By accurately describing and modeling these effects, the performance of the tool can

be enhanced during the research and design stages. (*Research purpose*) The objective of this research is to generate random processes with predefined correlation functions that simulate the profile of the supporting surface under the wheels of agricultural transport and technological systems during operations. Additionally, the study aims to visually represent the resulting random implementations of the support surface profile height. (*Materials and methods*) The proposed approach considers the variation in support surface profile height along the trajectory of agricultural transport and technological systems, while maintaining a constant speed, as a stationary random process. The selection of the correlation function type and its parameters is dependent on the specific characteristics of the support surface. Subsequently, using the Matlab environment, the model for the support surface profile height under the wheels is developed. (*Results and discussion*) Successful implementations of support surface profile height have been achieved for two distinct scenarios: asphalt and wheat stubble. A comparative analysis is conducted between the correlation function of the simulated implementation of the random process and the original correlation function. (*Conclusions*) The proposed algorithm has demonstrated its capability to generate a random process with specified correlation function properties, accurately describing the height fluctuations of the support surface profile under the wheels of agricultural transport and technological systems. The adequacy of the algorithm has been confirmed through a comprehensive analysis of at least 50 implementations, highlighting its effectiveness and reliability.

Keywords: transport and technological systems, support surface, external influences and effects, modeling of random processes, correlation function.

■ **For citation:** Korniyushin Yu. P., Lavrov A.V., Sidorova A.V. Modelirovanie sluchaynyh protsessov, obuslovlennykh profilom opornoj poverkhnosti transportno-tekhnologicheskikh sredstv [Modeling random processes induced by the support surface profile in transport and technological systems]. *Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 61-66 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-61-66. EDN OYCEFL.

Моделирование внешних случайных воздействий на сельскохозяйственные транспортно-технологические средства (ТТС) при движении по опорной поверхности с различной высотой неровностей остается актуальной задачей. Это обусловлено тем, что такие средства эксплуатируются именно при данном типе воздействий [1]. Возможность улучшить условия труда тракториста, повысить качество работ, долговечность транспортно-технологических средств связана с точностью воспроизведения профиля опорной поверхности на этапе исследования и проектирования.

Цель исследования – формирование случайных процессов с заданными корреляционными функциями, обусловленных профилем опорной поверхности под колесами ТТС при выполнении операций; визуализация полученных случайных реализаций высоты профиля опорной поверхности.

Материалы и методы. Изменение высоты q профиля опорной поверхности вдоль траектории движения средства с постоянной скоростью по пути L в ряде работ предложено рассматривать как стационарный случайный процесс [1, 2]. Исходя из этого, для моделирования высоты профиля опорной поверхности достаточно знать корреляционную функцию $R_z(l)$, которая характеризует структуру поверхности [3-5]. Корреляционную функцию высоты профиля чаще всего выбирают нескольких видов [6-8]:

$$\begin{aligned} R_z &= \sigma_z^2 e^{-\alpha_1(l)}, \\ R_z &= \sigma_z^2 e^{-\alpha_2(l)} \cos(\beta l), \\ R_z &= \sigma_z^2 (A_1 e^{-\alpha_1(l)} + A_2 e^{-\alpha_2(l)} \cos(\beta l)), \end{aligned} \quad (1)$$

где σ_z – среднеквадратическое отклонение, см;

α_1, α_2 и β – коэффициенты, характеризующие затухание и периодичность функции, соответственно, 1/м;

A_1 и A_2 – коэффициенты, характеризующие доли экспоненциальной и периодической составляющих.

Каждая из формул (1) соответствует определенному типу опорной поверхности: первая – с отдельными выступами и впадинами; вторая – с нерегулярной качкой; третья – как с нерегулярной качкой, так и отдельными впадинами и выступами.

Параметры, входящие в выражение корреляционной функции для каждого типа опорной поверхности, приводятся во многих литературных источниках (*табл. 1*) [1, 2, 7].

Аргументы L реализации и сдвига l (пройденного пути) в корреляционной функции измеряются в единицах длины (метр). Для характеристики профиля поверхности поля или дороги как функции воздействия на ТТС переходим от этих аргументов в выражениях (1) к временным аргументам t и τ в единицах времени (секунда). При этом коэффициенты α и β будут иметь размерность c^{-1} и соответствовать скорости движения агрегата $v = 1$ м/с. Для учета скорости движения значения α и β при единичной скорости (*табл. 1*) умножаются на заданную скорость v , т.е. $\alpha_v = \alpha \cdot v$ и $\beta_v = \beta \cdot v$ [3-5].

Для подготовки исходных данных в среде *Matlab* необходимо создать m -файл с исходными данными из *таблицы 1*.

Например:

```
clear; s = tf('s')
```

```
% Исходная корреляционная функция
R(l)=D*exp(-alfa*abs(l))*cos(beta*l)
```




Таблица 1

Table 1

ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АППРОКСИМАЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ВЫСОТ ПРОФИЛЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА $V = 1$ М/С
NUMERICAL COEFFICIENTS OF APPROXIMATION FOR CORRELATION FUNCTION OF SUPPORT SURFACE PROFILE HEIGHTS AT TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SPEED $V = 1$ M/S

Вид опорной поверхности (фон, рельеф) Types of base surface (background, relief)	σ_z , см sm	A_1	A_2	α_1 , 1/м 1/m	α_2 , 1/м 1/m	β , 1/м 1/m	Источники
Цементобетон / Cement concrete	0,5-1,24	–	–	–0,15	–	–	[1]
Асфальт / Asphalt	0,8-1,26	0,85	0,15	–0,2	–0,05	0,6	[1]
Асфальтированная дорога (в хорошем состоянии) Asphalt road (good condition)	0,815	0	1	0	0,13	1,05	[7]
Асфальтированная дорога (в изношенном состоянии) Asphalt road (worn condition)	1,1	0,85	0,15	0,2	0,05	0,6	[7]
Грунтовая дорога / Dirt road	2,12	–	1,0	–	0,58	0,63	[2]
Булыжник удовлетворительного качества Cobblestone of satisfactory quality	1,35-3,28	–	–	0,45	–	–	[1]
Булыжник с впадинами и буграми Cobblestone with depressions and mounds	1,35-3,28	0,85	0,15	–0,5	–0,2	1	[1]
Стерня колосовых культур / Stubble of cereal crops	3,26	0,9	0,1	0,7	0,2	1,57	[2]
Стерня пшеницы / Wheat stubble	2,4	–	1,0	–	0,42	0,29	[2]
Стерня кукурузы / Corn stubble	3,22	0,7	0,3	0,25	0,60	1,57	[2]
Пропашное поле / Tilled field	2,15	–	1,0	–	0,57	1,59	[2]
Залежь / Ledge	5,18	1,0	–	1,3	–	–	[2]

$v=2.5$; % скорость движения, м/с
 % Стерня пшеницы
 $Dq=2.4 \cdot 2.4e-4$; % дисперсия опорной поверхности, м²
 $\alpha=0.42$; % параметр α
 $\beta=0.29$; % параметр β
 % Пересчитываем параметры корреляционной функции с привязкой ко времени
 $\alpha_t = \alpha \cdot v$;
 $\beta_t = \beta \cdot v$.

Суть задачи моделирования случайного профиля опорной поверхности в моменты времени, соответствующие заданному шагу дискретизации, заключается в использовании некоторого формирующего фильтра, преобразующего сигнал типа «белый шум» в стационарный процесс с заранее заданными параметрами корреляционной функции. Случайные процессы с корреляционными функциями (1) относятся к классу случайных процессов с рациональной спектральной плотностью. Для их моделирования наиболее удобно применять разностные уравнения [9]. Это приводит к алгоритмам, не имеющим методической погрешности и сводящимся к простым рекуррентным соотношениям.

Алгоритм моделирования стационарного случайного процесса с рациональным спектром рассмотрен в работе [10]. Во всех алгоритмах заложен принцип преобразования последовательности $x[n]$ независимых нормально распределенных случайных чисел с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией (дискретный белый шум) в последовательность $y[n]$ с корреляционной функцией $R[N]=R(n\Delta t)$. Так, для корреляционной функ-

ции $R_z = \sigma_z^2 e^{-\alpha_2(l)} \cos(\beta l)$ дискретная передаточная функция формирующего фильтра и рекуррентный алгоритм для моделирования случайного процесса имеют вид [9, 11]:

$$G(\omega) = \frac{2\sigma^2}{\alpha} \frac{1+x^2+x_0^2}{(1+(x+x_0)^2)(1+(x-x_0)^2)}, \quad (2)$$

$$x = \frac{\omega}{\alpha}, x_0 = \frac{\omega_0}{\alpha},$$

$$y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}, \quad (3)$$

где $a_0 = \sigma \alpha$; $a_1 = \sigma \frac{\alpha_0}{\alpha_1}$;

$$b_1 = 2\rho \cos(\omega_0 \Delta t); b_2 = -\rho^2;$$

$$\alpha_0 = \rho(\rho^2 - 1) \cos(\omega_0 \Delta t);$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\alpha_2 \pm \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}; \alpha_2 = 1 - \rho^4$$

$$\rho = \exp(-\alpha \Delta t).$$

Для рассмотренного алгоритма в среде *Matlab* создан *m*-файл для моделирования высоты профиля опорной поверхности под колесами ТТС. Для формирования усредненной реализации используется массив реализаций в количестве *m*, исходя из соображений достоверности результатов. При получении случайного процесса произведен отсев переходного процесса формирующего фильтра с длиной участка 10 000 с учетом общей длины 20 000.

$N_T = 16384$; % Задаем длину числовой последовательности % N_T

```

delt = .05
% Получение последовательности с формирующего фильтра
nn = 50;% массив реализаций в количестве m
h = delt;
sigma = sqrt(Dq); %
gam_0 = beta_t*delt; %
gamma_max = alfa_t*delt; %
ro = exp(-gamma_max); %
al_0 = ro*(ro^2-1)*cos(gam_0); %
al_2 = 1-ro^4; %
al_1 = sqrt((al_2+sqrt(al_2^2-4*al_0^2))/2); %
b2 = -ro^2; %
b1 = 2*ro*cos(gam_0); %
a1 = sigma*al_0/al_1; %
a0 = sigma*al_1; %
% Zadanie DbSh дискретный белый шум
DbSh = randn(nn, N_T+20000);
for r=1 : nn
X1(r,1) = 0;
X1(r,2) = 0;
end;
for r=1 : nn
for i=3 : N_T+20000
X1(r,i) = a0 * DbSh(r,i) +a1 * DbSh(r,i-1)
+ b1 * X1(r,i-1) + b2*X1(r,i-2);
end;
end;
% X1 - выход формирующего фильтра
% Отсев переходного процесса формирующего фильтра
for r=1 : nn
for i=1 : N_T+10000
X12(r,i) = X1(r,i+10000);
end;
end;
% Начинаем моделировать
T_sim = delt*(N_T+10000);
T_sim = 1500;
tc = linspace(0,T_sim,N_T+10000); %
Время на модель
for r=1 : nn
for i=1 : N_T+10000
X(i) = X12(r,i); % Вход на модель
end;
open_system('x1.slx');
% sim('x1.slx',T_sim);
sim('x1.slx',tc);
close_system('x1.slx');
figure(1)
handle=plot(input.time,input.Data,'k');
set(handle,'LineWidth',3)
xlabel('t')
ylabel('input')

```

```

grid on
input = input.Data; %
for i=1 : N_T+10000
input0(r,i) = input(i);
end;
end.

```

Для сохранения и визуализации полученной реализации высоты профиля опорной поверхности воспользуемся блоками *To Workspace* и *Scope* в среде *Simulink* (рис. 1).

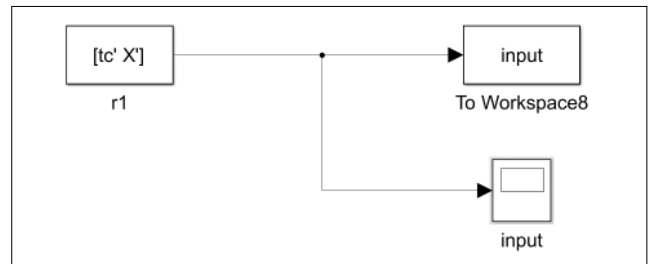


Рис. 1. Подпрограмма в среде *Simulink* для формирования и визуализации полученного массива

Fig. 1. *Simulink* subroutine for array generation and visualization

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Полученная в итоге моделирования реализация представлена на рисунке 2.

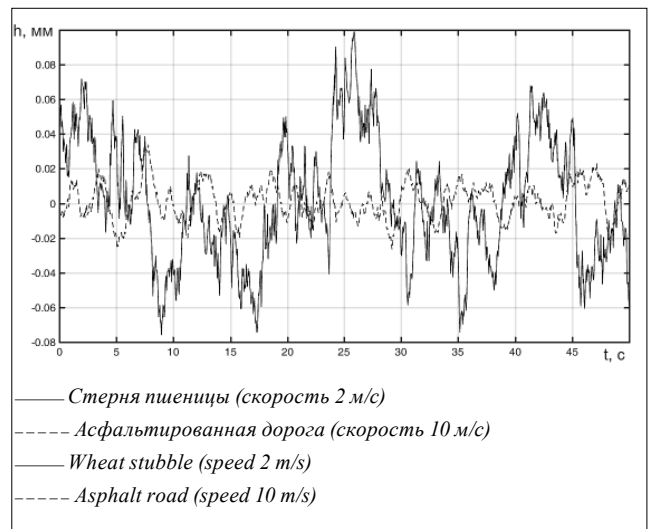


Рис. 2. Реализации высоты профиля опорных поверхностей
Fig. 2. Implementation of support surface profile heights

Для оценки соответствия полученного процесса исходным требованиям проведено сравнение корреляционной функции смоделированной реализации случайного процесса с исходной корреляционной функцией (рис. 3).

Адекватность полученных случайных процессов проверена путем сравнения заданной корреляционной функции с корреляционной функцией сгенерированного случайного процесса (табл. 2), используя среднюю арифметическую S_a и среднюю квадратичную S_x погрешность [12];

Таблица 2

Table 2

ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНИХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ И КВАДРАТИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
NUMERICAL VALUES OF ARITHMETIC AND QUADRATIC ERROR AVERAGES

Вид опорной поверхности (фон, рельеф) The base surface type (background, relief)	Скорость, V, м/с Speed, V, m/sec	Средняя арифметическая погрешность* Arithmetic mean error*			Средняя квадратичная погрешность Mean square error		
		m = 1	m = 10	m = 50	m = 1	m = 10	m = 50
Асфальтированная дорога Asphalt road	10	0,0178	0,0084	0,0021	0,0206	0,0104	0,0027
Стерня пшеницы Wheat stubble	2	0,0151	0,0065	0,0026	0,0170	0,0085	0,0034

*m – количество реализаций
*m – array of implementations

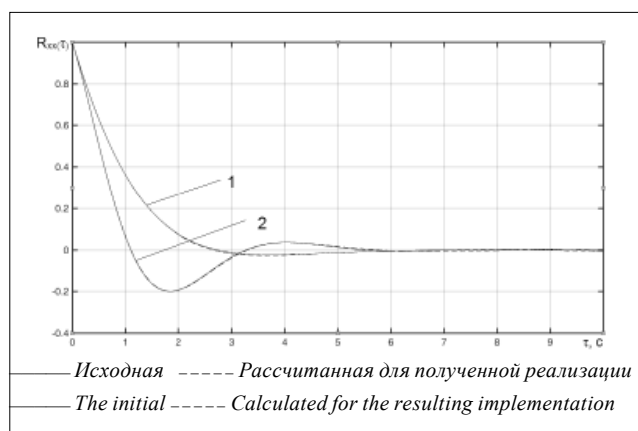


Рис. 3. Корреляционные функции: 1 – стерня пшеницы (скорость 2 м/с); 2 – асфальтированная дорога (скорость 10 м/с)
Fig. 3. Correlation functions: 1 – wheat stubble (speed 2 m/s); 2 – Asphalt road (speed 10 m/s)

$$S_a = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|}{n}; \quad S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$$

где x_i – экспериментальное значение; \bar{x}_i – значение, рассчитанное по функциональной модели.

Выводы

На основании анализа средних арифметических и средних квадратичных погрешностей корреляционных функций можно сделать вывод, что использованный алгоритм позволяет получить случайный процесс с заданными свойствами корреляционной функции для описания колебаний высоты профиля опорной поверхности под колесами транспортно-технологического средства с достаточно высокой степенью адекватности, используя массив реализаций, начиная с их количества $m = 50$.

При моделировании выполнения транспортно-технологическим средствами технологических операций предложенные методика и программа позволят смоделировать необходимые случайные процессы с заранее заданными свойствами.

Повышение точности воспроизведения профиля опорной поверхности как случайного процесса на этапе исследования и проектирования ТТС позволят выявить пути улучшения условий труда тракториста, повышения качества выполняемых технологических операций и долговечности транспортно-технологических средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос. 1981. 382 с.
2. Попов В.Б. Математическое моделирование мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2005. N3(22). С. 13-18.
3. Проектирование полноприводных колесных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. Кн. 1. 496 с.
4. Жеглов Л.Ф. Спектральный метод расчета систем поддрессирования колесных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 150 с.
5. Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Комплексное поддрессирование высокоподвижных двухзвенных гусеничных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 184 с.
6. Сергиенко А.Н., Медведев Н.Г., Любарский Б.Г., Беляев С.Н., Шушляпин С.В. Методика задания неровностей профиля дороги при моделировании подвески автомобиля с рекуператором энергии колебаний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків: 2013. N37. С. 185-192.
7. Рыков С.П., Бекирова Р.С., Коваль В.С. Моделирование случайного микропрофиля автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2010. N4(8). С. 33-37.
8. Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.С., Гольдин Г.В., Додонов Б.М., Жигарев В.П., Кольцов В.И., Юрик В.С., Яковлев Е.И. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель. М.: Машиностроение. 1976. 535 с.
9. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Советское радио. 1971. 328 с.
10. Методы статистического моделирования в радиотехнике: Санкт-Петербург: Электросвязь. 2003. 36 с.
11. Липатов И.Н. Оценка погрешности моделирования случайного процесса с заданной корреляционной функцией

ей // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления.* 2010. N4. С. 82-87.

12. Прохоров С.А. (ред.). Прикладной анализ случайных процессов. Самара: СНЦ РАН. 2007. 582 с.

REFERENCES

- Lur'e A.B. Statisticheskaya dinamika sel'skokhozyaystvennykh agregatov [Statistical dynamics of agricultural aggregates]. Moscow: Kolos. 1981. 382 (In Russian)
- Popov V.B. Matematicheskoe modelirovanie mobil'nogo sel'skokhozyaystvennogo agregata v rezhime transportnogo pereezda [Mathematical modeling of a mobile agricultural unit in the transport crossing mode]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo.* 2005. N3(22). 13-18 (In Russian).
- Proektirovanie polnoprivodnykh kolesnykh mashin [Design of all-wheel drive vehicles]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2008. Vol. 1. 496 (In Russian).
- Zheglov L.F. Spektral'nyy metod rascheta sistem podressorivaniya kolesnykh mashin [Spectral method for calculating suspension systems for wheeled vehicles]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2009. 150 (In Russian).
- Kotiev G.O., Sarach E.B. Kompleksnoe podressorivanie vysokopodvizhnykh dvukhzvennykh gusenichnykh mashin [Integrated suspension of highly mobile two-link tracked vehicles]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2010. 184 (In Russian).
- Sergienko A.N., Medvedev N.G., Lyubarskiy B.G., Belyaev S.N., Shushlyapin S.V. Metodika zadaniya nerovnostey profilya dorogi pri modelirovanii podveski avtomobilya s rekuperatorom energii kolebaniy [Technique for specifying road profile roughness when modeling a car suspension with a vibration energy recuperator]. *Vestnik NTU «KHP». Seriya: Matematichne modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh.* Kharkiv: 2013. N37. 185-192 (In Russian).
- Rykov S.P., Bekirova R.S., Koval' V.S. Modelirovanie sluchaynogo mikroprofilya avtomobil'nykh dorog [Modelling of casual microprofile of highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii.* 2010. N4(8). 33-37 (In Russian).
- Khachaturov A.A., Afanas'ev V.L., Vasil'ev V.S., Gol'din G.V., Dodonov B.M., Zhigarev V.P., Kol'tsov V.I., Yurik V.S., Yakovlev E.I. Dinamika sistemy doroga-shina-avtomobil'-voditel' [Dynamics of the road-tire-car-driver system]. Moscow: Mashinostroenie. 1976. 535 (In Russian).
- Bykov V.V. Tsifrovoye modelirovanie v statisticheskoy radiotekhnike [Digital Simulation in Statistical Radio Engineering]. Moscow: Sovetskoye radio. 1971. 328 (In Russian).
- Metody statisticheskogo modelirovaniya v radiotekhnike [Methods of statistical modeling in radio engineering]. Sankt-Peterburg: Elektrosvyaz'. 2003. 36 (In Russian).
- Lipatov I.N. Otsenka pogreshnosti modelirovaniya sluchaynogo protsesssa s zadannoy korrelyatsionnoy funktsiey [Evaluation of the error in modeling a random process with a specified correlation function]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya.* 2010. N4. 82-87 (In Russian).
- Prokhorov S.A. (editor). Prikladnoy analiz sluchaynykh protsessov [Applied analysis of random processes]. Samara: SNTS RAN. 2007. 582 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Корнюшин Ю.П. – формулирование основных направлений исследования, проведение экспериментального исследования, формирование текста;

Лавров А.В. – литературный анализ, проведение экспериментального исследования, обработка результатов исследования;

Сидорова А.В. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Kornyushin Y.P. – formulation of the main research directions, conducting experiments, working on the article manuscript;

Lavrov A.V. – literature review, conducting experiments, research result processing;

Sidorova A.V. – literature review, research result processing, working on 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

05.04.2023

26.05.2023

Методика инженерного расчета рабочего органа для мелкой обработки почвы

Сергей Иванович Камбулов^{1,2},
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Галина Геннадьевна Пархоменко¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Ольга Сергеевна Бабенко²,
ассистент,
e-mail: lelyababenko.90@mail.ru;
Сергей Витальевич Белоусов^{1,3},
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

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

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

³Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что параметры и режимы функционирования рабочего органа должны определяться комплексно с использованием согласованных между собой зависимостей. (*Цель исследования*) Разработать методику инженерного расчета параметров и режимов функционирования нового рабочего органа для мелкой обработки почвы с требуемыми показателями технологического процесса и с учетом свойств почвы. (*Материалы и методы*) Составлена схема силового взаимодействия. В результате анализа силового взаимодействия установили связь параметров рабочего органа с физико-механическими свойствами почвы. Получена зависимость параметров рабочего органа (угла крошения) с режимом действия агрегата (скоростью). (*Результаты и обсуждение*) Использованы представляющие научную новизну зависимости параметров и режимов функционирования культиватора от физико-механических свойств почвы и показателей технологического процесса. Для мелкой обработки почвы предложен рабочий орган с криволинейными поверхностями повышенной обтекаемости. Представлены варианты одноярусного и многоярусного расположения рабочих органов, определения их ширины для требуемой ширины захвата культиватора. (*Выводы*) Предложена методика инженерного расчета, в соответствии с которой установлены параметры и режимы функционирования орудия: угол крошения 15 градусов, длина 30 сантиметров, ширина 45 сантиметров, угол раствора 75-110 градусов, угол подъема 10 градусов при глубине 6-16 сантиметров и скорости движения агрегата до 14 километров в час. Технологический процесс характеризуется крошением почвы с характерным размером комка до 25 миллиметров, тяговым сопротивлением до 3,7 килоньютон.

Ключевые слова: мелкая обработка почвы, инженерный расчет, рабочий орган, технологический процесс работы, энергетические показатели, модернизация.

■ **Для цитирования:** Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Бабенко О.С., Белоусов С.В. Методика инженерного расчета рабочего органа для мелкой обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 67-72. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-67-72. EDN ХОМАРМ.

Methodology for Engineering Calculation of Working Bodies for Shallow Tillage

Sergey I. Kambulov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Galina G. Parkhomenko¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Olga S. Babenko²,
assistant,
e-mail: lelyababenko.90@mail.ru;
Sergey V. Belousov^{1,3},
Ph.D.(Eng.), junior researcher,
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

¹Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;

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

³Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. This study emphasizes the need for a comprehensive determination of parameters and operational modes of the working body, employing mutually agreed dependencies. (*Research purpose*) The research aims to develop a methodology for calculating parameters and operational modes for a novel shallow tillage working body, considering the required technological process indicators and soil properties. (*Materials and methods*) A force interaction diagram has been constructed, enabling the establishment of a relationship between working body parameters and soil physical and mechanical properties. This analysis yields a correlation between the working body parameters (crumbling angle) and unit operation mode (speed). (*Results and discussion*) The innovative aspect lies in utilizing the relationships linking the cultivator parameters and operational modes with the soil properties and process indicators. For shallow tillage, a working body with curved surfaces and increased streamlining is proposed. Various single-tier and multi-tier configurations, along with corresponding working body widths aligned with cultivator width, are presented. (*Conclusions*) The paper introduces an engineering calculation method, determining the following working tool parameters: the crumbling angle of 15 degrees, the length of 30 centimeters, the width of 45 centimeters, the opening angle of 75-110 degree, the elevation angle of 10 degrees at the depths of 6-16 centimeters, and the speed of up to 14 kilometers per hour. The technological process involves soil crumbling resulting in a characteristic clod size of up to 25 millimeters, and tractive resistance reaching up to 3.7 kilonewtons.

Keywords: shallow tillage, engineering calculation, working body, technological process, energy indicators, modernization.

■ **For citation:** Kambulov S.I., Parkhomenko G.G., Babenko O.S., Belousov S.V. Metodika inzhenernogo rascheta rabocheho organa dlya melkoy obrabotki pochvy [Methodology for engineering calculation of working bodies for shallow tillage]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 67-72 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-67-72. EDN XOMAPM.

Повышение эффективности почвообрабатывающих машин требует создания принципиально новой конструкции рабочих органов, проектирование которых основано на общей методологии исследования. Данная методология должна предусматривать учет свойств обрабатываемой среды, в которой функционирует разрабатываемый рабочий орган, и использование бионического формообразования для его проектирования [1, 2]. При этом методика определения параметров при актуальных требованиях к качеству обработки почвы должна иметь единую структуру, пригодную для расчета различных конструкций рабочего органа с учетом индивидуальных особенностей и назначения почвообрабатывающей машины [3].

Рабочий орган культиватора предназначен для подрезания сорных растений по всей поверхности поля, нарушения капиллярности и перемешивания растительных остатков в верхнем слое почвы, создания четкого посевного ложа. Наибольший научный и практический интерес представляют результаты исследования взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой средой. Это послужит основой для проектирования, определения параметров и режимов функционирования новых рабочих органов. Так, параметры и режимы функционирования рабочего органа необходимо устанавливать на основании силового расчета, структурного моделирования и характеристик требуемого энергетического средства для агрегатирования почвообрабатывающей машины [4-6]. При этом учитываются условия функционирования рабочего органа, в частности аридность климата [7-9]. Новым направлением адаптации рабочего органа к условиям обрабатываемой среды является разработ-

ка конструкции с изменяемыми параметрами [10].

Отмечается ряд недостатков рабочих органов культиватора [11]. Так, при использовании стрельчатых лап отмечается большая неравномерность по глубине хода рабочих органов культиватора, вынос влажных слоев на поверхность поля, залипание, образование гребней и борозд [12, 13].

Параметры и режимы функционирования рабочего органа необходимо определять комплексно, с использованием согласованных между собой зависимостей, учитывающих не только геометрию конструкции [14, 15]. Не менее важны физико-механические свойства обрабатываемой среды, а также требуемые качественные и энергетические показатели технологического процесса [16, 17].

Цель работы – разработать методику расчета параметров и режимов функционирования нового рабочего органа культиватора по требуемым технологическим показателям процесса и с учетом свойств почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В отделе механизации растениеводства АНЦ «Донской» на основании принципов бионического формообразования разработана конструкция рабочего органа для мелкой обработки почвы с криволинейными поверхностями повышенной обтекаемости (*рис. 1*).

В результате анализа силового взаимодействия (*рис. 2*) выявлена взаимосвязь параметров рабочего органа (геометрических размеров) с физико-механическими свойствами почвы (углами внешнего, внутреннего трения, сдвига и др.).

Установлена взаимосвязь параметров рабочего органа (угла крошения) и режима работы агрегата (скоростью) с учетом физико-механических свойств по-



Рис. 1. Рабочий орган для мелкой обработки почвы на основе бионического формообразования

Fig. 1. Bionically shaped working body for shallow tillage

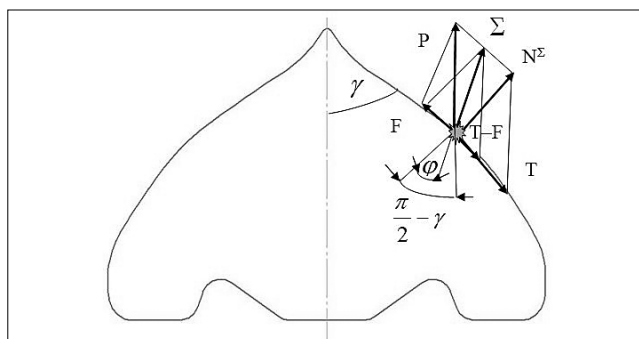


Рис. 2. Схема силового взаимодействия рабочего органа с почвенной средой: γ – угол раствора; ϕ – угол внешнего трения; N^E – суммарная сосредоточенная нагрузка; P – проекция суммарной сосредоточенной нагрузки в направлении скорости поступательного движения рабочего органа; T – проекция суммарной сосредоточенной нагрузки в направлении касательной вдоль режущей кромки; Σ – результирующая суммарная сил P и $T - F$; F – сила трения

Fig. 2. Diagram illustrating the force interaction between the working body and the soil environment: γ – opening angle; ϕ – angle of external friction; N^E – total concentrated load; P – projection of the total concentrated load in the direction of the translational movement speed of the working body; T – projection of the total concentrated load in the direction tangential to the cutting edge; Σ – resultant total forces P and $T - F$; F – friction force

чвы, которые, в свою очередь, характеризуются изменением углов внешнего и внутреннего трения при различной твердости и влажности почвы. Получено выражение, раскрывающее взаимосвязь угла крошения с энергетическими (тяговым сопротивлением) и качественными (размером комка) показателями технологического процесса с учетом изменения углов трения при различной твердости и влажности почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В исследовании использованы зависимости, представляющие научную новизну с точки зрения корреляции параметров и режимов функционирования культиватора, физико-механических свойств почвы и показателей технологического процесса мелкой обработки почвы. На этой основе разработана методика инженерного расчета.

1. В целях обеспечения резания со скольжением для полного подрезания сорных растений выбирается угол раствора 2γ с учетом внешнего трения с обрабатываемой средой из следующей зависимости:

$$2 \cdot \gamma \leq \pi - 2 \cdot \phi. \quad (1)$$

2. Для уменьшения силы сопротивления резанию устанавливается минимальный угол крошения β (между поверхностью рабочего органа и дном борозды в продольно-вертикальной плоскости), исходя из требуемого заострения ξ и заднего затылочного угла резания ε :

$$\beta < \varepsilon + \xi, \text{ град.} \quad (2)$$

3. Длина рабочего органа l (м) и диапазон скорости V (м/с) на основании качественного крошения пласта при достаточном временном сопротивлении сжатию σ почвы (Н/м^2), физико-механические свойства которой характеризуются плотностью ν (кг/м^3), внешним ϕ и внутренним ρ трением принимаются по соотношению:

$$\sigma \geq \frac{V^2 \cdot \nu \cdot \left(\frac{\sin(\beta + \phi + \rho)}{2} - \sin^2\left(\frac{\beta + \phi + \rho}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\beta + \phi) \right) + l \cdot g \cdot \nu}{\sin\left(\frac{\beta + \phi + 3\rho}{2}\right) + \cos\left(\frac{\beta + \phi + 3\rho}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\beta + \phi)}. \quad (3)$$

При соблюдении такого соотношения рабочий орган функционирует без образования почвенного нароста (призмы волочения), обусловленной сгуживанием почвы.

4. Для требуемого захвата культиватора B подбирается ширина рабочего органа b по номинальному тяговому усилию (Н) применяемого энергосредства с учетом перекрытия χ :

$$B = b \cdot n - \chi \cdot (n - 1), \text{ м.} \quad (4)$$

При однорядной схеме рабочие органы размещены на одном прямом брусе. Такое размещение может быть применено в основном при рыхлении почвы в междурядьях возделываемых культур. Для сплошной обработки почвы при малой ширине междурядья культиватор с однорядной схемой размещения рабочих органов забивается почвой и растительными остатками.

В многорядном культиваторе два последних ряда стоек рабочих органов должны располагаться на увеличенном расстоянии друг от друга, обеспечивая ровный фон и подрезание оставшихся сорных растений. Двухрядные стерневые культиваторы осуществляют основную сплошную обработку по стерне, препятствуя испарению влаги, заделывая пожнивные остатки и провоцируя прорастание сорных растений, не оставляя при этом плужной подошвы. Подобный культиватор должен иметь широко расставленные в ряду стойки с рабочими органами и перекрытие. Причем для обеспечения сплошного перекрытия устанавливается дополнительный брус для крепления рабочих органов, а рабочие органы с первого ряда частично убираются и переносятся на второй ряд.

При двухрядной схеме рабочие органы первого ряда (это почти половина их общего числа на раме) функционируют в сплошной среде, осуществляя процесс

несвободного блокированного резания (при отсутствии открытой боковой стенки – разрыхленной сбобку почвы), что способствует повышению тягового сопротивления. Исполнительные элементы первого ряда, работая в сплошной среде, изнашиваются и подвергаются поломкам быстрее, чем расположенные в последнем ряду.

При размещении в заднем ряду на раме относительно большего количества рабочих органов для крайних боковых обеспечивается полусвободное полублокированное резание с одной открытой стенкой, а для средних – свободное резание при наличии двух открытых стенок. При меньшем количестве рабочих органов заднего ряда все они функционируют в условиях свободного резания.

При работе на стерне, особенно длинностебельных растений, культиватор с двухрядным расположением рабочих органов может забиваться пожнивными остатками в пространстве между передним и задним рядами. При многорядной схеме культиватор не забивается пожнивными остатками на стерневых фонах. Обеспечивается достаточное расстояние между рабочими органами в каждом ряду по ширине захвата, в результате исключается забивание рабочих органов, значительно улучшается крошение и уменьшается высота неразрушенных гребней. Недостатком многорядной схемы, как и двухрядной, является то, что все рабочие органы первого ряда, составляющие, как правило, большую часть их общего числа на раме, функционируют в сплошной среде, осуществляя несвободное блокированное резание с повышенными затратами энергии.

Также при работе на полях с неровной поверхностью снижается устойчивость хода глубины рабочих органов по глубине переднего ряда относительно заднего. Наблюдается ускоренный износ рабочих органов первого ряда, функционирующих в условиях блокированного резания в сплошной среде. При увеличении ширины захвата машины число рабо-

чих органов, работающих в сплошной среде, только возрастает.

Ширина лап и их количество определяют интенсивность работы культиватора и качество крошения пласта после культивирования. Рабочие органы с большой шириной захвата и расстановкой формируют крупные комья на поверхности почвы. Соответственно, чем тяжелее почва, больше должна быть глубина и меньше расстояние, характеризующее расстановку, тем более узким должен быть сам рабочий орган.

5. Из конструктивных соображений выбирается высота профильной проекции рабочего органа h (рис. 3), которая связана функциональной зависимостью с углом подъема α :

$$tg\alpha = tg\beta \cdot \sin\gamma. \quad (5)$$

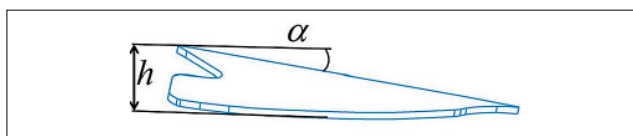


Рис. 3. Определение профильной высоты проекции рабочего органа

Fig. 3. Calculation of the profile height for the projected working body

6. Определяется характерный размер комка a' – качественный показатель технологического процесса. Его нормативное значение регламентировано агротехническими требованиями в зависимости от глубины обработки почвы a (см):

$$a' = \frac{a}{(0,2-0,3) \cdot \cos\left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \beta + \varphi + \rho}{2}\right)} \leq 2,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

При мелкой обработке почвы (до 16 см) агротехнически целесообразным считается преобладание комков размером менее 2,5 см.

7. Уточняется скорость рабочего органа, установленная на основании условия (3):

Таблица		Table
ПАРАМЕТРЫ, РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА КУЛЬТИВАТОРА И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕЛКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ		
PARAMETERS AND OPERATION MODES OF THE CULTIVATOR'S WORKING BODY, AND INDICATORS FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SHALLOW TILLAGE		
Показатель / Indicator	Обозначение	Величина
Глубина / Depth	a , см	6-16
Угол крошения / Crumbling angle	β , град	15
Рациональная скорость / Optimal speed	V , км/ч	До 14
Характерный размер комка / Characteristic lump size	a' , мм	До 25
Тяговое сопротивление / Traction resistance	P_T , кН	До 3,7
Длина рабочего органа / Working body length	l , см	30
Ширина рабочего органа / Working body width	b , м	45
Высота профильной проекции / Profile projection height	h , см	6
Угол раствора / Opening angle	γ , град	75-110
Угол подъема / Lifting angle	α , град	10

$$V = \sigma \cdot \frac{\cos\left(\frac{3 \cdot \beta + \varphi + \rho}{2}\right)}{\sin \beta} \times \sqrt{\frac{g}{109 \cdot v \cdot \exp[3,8 \cdot (v-1,2)]}}, \text{ м/с.} \quad (7)$$

8. В зависимости от выбранного угла крошения β по зависимости (2) и характерного размера комка по выражению (6) определяется тяговое сопротивление рабочего органа P_T – энергетический показатель технологического процесса мелкой обработки почвы в зависимости от силы сцепления (Н/м^2) – внутренней связи между комками:

$$P_T = \frac{c_0 \cdot \Sigma(\Delta a')^2 \cdot \sin(\beta + \varphi) \cdot \cos \rho}{\cos\left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2}\right)}, \text{ Н.} \quad (8)$$

Результаты инженерного расчета рабочего органа культиватора представлены в [таблице](#).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В. Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2016. N6(169). С. 50-59.
2. Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю., Соболевский И.В. Развитие бионического направления в земледельческой механике // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017. N4(59). С. 68-74.
3. Федоренко В.Ф., Киреев И.М., Марченко В.О. Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2019. N5(263). С. 12-17.
4. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // *Тракторы и сельхозмашины*. 2018. N1. С. 47-54.
5. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов // *Труды ГОСНИТИ*. 2017. Т. 126. С. 55-61.
6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Экспериментальное исследование характеристик тракторных пневматических шин // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N11. С. 40-48.
7. Amin M., Khan M.J., Jan M.T., et al. Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment. *Soil and Environment*. 2014. Vol. 33. Iss. 1. 33-37.
8. Mairghanya M., Yahya A., Adamb N.M., et al. Rotary tillage effects on some selected physical properties of fine textured soil in wetland rice cultivation in Malaysia. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 194.
9. Савельев Ю.А., Кухарев О.Н., Ларюшин Н.П. и др. Снижение потерь почвенной влаги на испарение // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N1. С. 42-47.
10. Мударисов С.Г., Султанов Ш.М. Обоснование рабочей поверхности стрелчатой лапы с изменяемыми параметрами // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N8. С. 35-36.
11. Припоров Е.В., Припоров И.Е., Самурганов Г.Е. Сравнительный анализ культиваторов для предпосевной обработки почвы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N1(81). С. 77-81.
12. Руденко Н.Е., Ляхов А.П. Ресурсосберегающий модульный паровой культиватор // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2009. Т. 46. N2. С. 93-96.
13. Wang M., Fu Z.L., Zheng Z.Q., et al. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021. 11. 1039.
14. Старовойтов С.И., Гринь А.М., Лебедев Д.Е. Об углах универсальной стрелчатой лапы // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. N3(55). С. 76-82.
15. Белоусов С.В. Лемешный плуг с дополнительными дисковыми рабочими органами // *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N115 (01). С. 783-797.
16. Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P., et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.
17. Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Gabitov I.I., et al. Mathematical description of the mechanical erosion process in sloping fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N 88. 6505-6511.

REFERENCES

- Babitskiy L.F., Sobolevsky I.V. Bionicheskoe obosnovanie konstruktivnykh uprugikh rabochikh organov kul'tivatora-ploskoreza [Bionic design justification of resilient working bodies of the flat cut cultivator]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriydy*. 2016. N6(169). 50-59 (In Russian).
- Babitskiy L.F., Moskalevich V.Yu., Sobolevskiy I.V. Razvitiye bionicheskogo napravleniya v zemledel'cheskoy mekhanike [The development of bionic trends in agricultural mechanics]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017. N4(59). 68-74 (In Russian).
- Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Issledovanie metodov i tekhnicheskikh sredstv dlya izmereniya glubiny obrabotki pochvy pri ispytaniyakh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Research of methods and technical means for measuring the tillage depth when testing tillage machines]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N5(263). 12-17 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Silovoy analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin po zadannoy traektorii [Force analysis of mechanism of tillage machines working elements following a specified path]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018. N1. 47-54 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Metod strukturnogo modelirovaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya ekspluatatsionnykh rezhimov raboty pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Method of structural modeling of automatic control systems for operating modes of soil-cultivating units]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 126. 55-61 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Eksperimental'noye issledovanie kharakteristik traktornykh pnevmaticheskikh shin [Experimental study of the tractor pneumatic tire characteristics]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N11. 40-48 (In Russian).
- Amin M., Khan M.J., Jan M.T., et al. Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment. *Soil and Environment*. 2014. Vol. 33. N1. 33-37 (In English).
- Mairghanya M., Yahyaa A., Adamb N.M., et al. Rotary tillage effects on some selected physical properties of fine textured soil in wetland rice cultivation in Malaysia. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 194 (In English).
- Savel'ev Yu.A., Kuharev O.N., Laryushin N.P., et al. Snizhenie poter' pochvennoy vlagi na ispareniye [Soil moisture loss reduction owing to evaporation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N1. 42-47 (In Russian).
- Mudarisov S.G., Sultanov Sh.M. Obosnovaniye rabochey pov-erkhnosti strel'chatoy lapy s izmenyaemyimi parametrami [Justification of the working surface of the lancet paw with variable parameters]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. N8. 35-36 (In Russian).
- Priporov E.V., Priporov I.E., Samurganov G.E. Sravnitel'nyy analiz kul'tivatorov dlya predposevnoy obrabotki pochvy [Comparative analysis of cultivators for preseeded soil treatment]. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2020. N1(81). 77-81 (In Russian).
- Rudenko N.E., Lyakhov A.P. Resursosberegayushchiy modul'nyy parovoy kul'tivator [Resource-saving modular steam cultivator]. *Proceedings of the Gorsky State Agrarian University*. 2009. Vol. 46. N2. 93-96 (In Russian).
- Wang M., Fu Z.L., Zheng Z.Q., et al. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021. 11. 1039 (In English).
- Starovoytov S.I., Grin' A.M., Lebedev D.E. Ob uglakh universal'noy strel'chatoy lapy [Angles of the center hoe]. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016. N3(55). 76-82 (In Russian).
- Belousov S.V. Lemeshnyy plug s dopolnitel'nymi diskovymi rabochimi organami [Ploughshare plow with additional disk working bodies]. *Politematicheskyy setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2016. N115(01). 783-797 (In Russian).
- Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P., et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77 (In English).
- Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Gabitov I.I., et al. Mathematical description of the mechanical erosion process in sloping fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N 8. 6505-6511 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Камбулов С.И. – научное руководство, постановка задачи исследования, оценка достоверности полученных результатов;

Пархоменко Г.Г. – разработка методики инженерного расчёта рабочего органа для мелкой обработки почвы;

Бабенко О.С. – обзор и анализ направлений развития конструкции почвообрабатывающих рабочих органов;

Белосов С.В. – обработка результатов, построение схем и чертежей в программе «Компас», литературный анализ, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Kambulov S.I. – scientific guidance, formulation of the research task, assessment of the result validity;

Parkhomenko G.G. – development of engineering calculation method for the shallow tillage working body;

Babenko O.S. – review and analysis of the directions in the design advancement of tillage working bodies;

Belousov S.V. – results processing, construction of diagrams and drawings drawings using the Compass program, literature review, manuscript revision.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

07.07.2023

07.09.2023

Обоснование состава, типа и количества технических средств для рисоводческих кластеров

Махамад Тожалиевич Тошболтаев¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: den_polykov@mail.ru;

Бекзод Эгамназаров²,
докторант,
e-mail: egamnazarovbekzod94@gmail.com

¹Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, п. Гульбахор, Ташкентская область, Республика Узбекистан;

²Наманганский инженерно-строительный институт, г. Наманган, Республика Узбекистан.

Реферат. Отметим, что в настоящее время в Республике Узбекистан рис возделывается в основном на рисоводческих кластерах по рассадной технологии. Несмотря на минимальный расход водных и материально-технических ресурсов, сокращение сроков созревания и уборки урожая, эта технология применяется недостаточно широко. Выявили, что одна из причин заключается в отсутствии у специалистов рисоводческих хозяйств научно обоснованных данных о технических средствах для выращивания риса кластерным методом. (*Цель исследования*) Обосновать состав, тип и количество технических средств, обеспечивающих повышение уровня механизации производства при рассадной технологии посева риса. (*Материалы и методы*) Использовали правила монографического наблюдения, анализа и синтеза информации, нормативные методы и основные положения эксплуатации машинно-тракторного парка. (*Результаты и обсуждение*) Объектом исследования выбрали рисоводческий кластер TCT RICE с посевной площадью 2700 гектаров. Привели основные технические характеристики рассадопосадочной машины PRO-600V. При обосновании состава, типа и количества технических средств для реализации производственного процесса за основу приняли операции, предусмотренные типовыми технологическими картами выращивания риса. На основе девяти критериев оценки определили состав, тип и количество машин для основных агротехнических операций: вспашки, подготовки полей к посеву, посадки рассады, возделывания растений, уборки и транспортировки урожая. (*Выводы*) Полная механизация производственного процесса на посевной площади рисоводческого кластера TCT RICE достигается использованием 15 типов технических средств общим количеством 301 единицы. Полученные результаты могут служить первичным материалом при составлении машинно-тракторных рисоводческих агрегатов и обосновании ремонтно-обслуживающей базы рисоводческих кластеров.

Ключевые слова: рисоводческий кластер, выращивание риса, технические средства, рассадопосадочная машина, критерии оценки, механизация.

■ **Для цитирования:** Тошболтаев М.Т., Эгамназаров Б. Обоснование состава, типа и количества технических средств для рисоводческих кластеров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 73-78. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-73-78. EDN BNOBRX.

Rationale for the Composition, Type and Quantity of Technology for Rice Clusters

Mahamad T. Toshboltaev¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: den_polykov@mail.ru;

Bekzod Egamnazarov²,
Ph.D. student (Eng.),
e-mail: egamnazarovbekzod94@gmail.com

¹Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization, Gulbahor, Tashkent region, Republic of Uzbekistan;

²Namangan Engineering-Construction Institute, Namangan, Republic of Uzbekistan.

Abstract. This paper underscores the predominant employment of seedling technology for rice cultivation in rice-growing clusters within the Republic of Uzbekistan. Despite its benefits in terms of minimal water and resource consumption, accelerated maturation, and harvest timing, this technology's widespread adoption remains limited. The study identifies a key factor in this limitation to be the absence of scientifically grounded information concerning the technical rationale required for rice cultivation via the cluster method, particularly among rice farm experts. (*Research purpose*) To provide the rationale for the composition, types, and quantities of technical equipment necessary to enhance the level of mechanization in the rice seedling technology.

(*Materials and methods*) The research involves a range of methodologies, including monographic observation rules, information analysis and synthesis, normative methods, as well as the fundamental principles governing the operation of the machine and tractor fleet. (*Results and discussion*) The research focuses on the TCT RICE rice cluster, which encompasses a cropland area of 2700 hectares. The principal technical attributes of the PRO-600V transplanter were provided. In substantiating the composition, type and quantity of technical equipment for executing the production process, the operations delineated in standard flow charts for rice cultivation were employed as the foundational framework. A set of nine assessment criteria is utilized to determine the appropriate composition, type, and quantity of technical equipment necessary for the key agrotechnical activities, including plowing, pre-sowing tillage, seedling, plant cultivation, crop harvesting, and transportation. (*Conclusions*) Full mechanization of the production process in the cropland of the TCT RICE rice cluster is achieved by using 15 types of technical equipment with a total of 301 units. The results obtained can serve as primary material in the preparation of machine-tractor rice-growing units and the justification of the repair and maintenance base of rice-growing clusters. Complete mechanization of the production process within the cropland of the TCT RICE rice cluster is realized through the deployment of 15 categories of technical equipment, amounting to a total of 301 units. The research outcomes can be utilized as fundamental data for crafting machine-tractor units used for rice cultivation, as well as substantiating the infrastructure for repair and maintenance within rice-growing clusters.

Keywords: rice cluster, rice cultivation, technical equipment, transplanter, assessment criteria, mechanization.

■ **For citation:** Toshboltaev M.T., Egamnazarov B. Obosnovanie sostava, tipa i kolichestva tekhnicheskikh sredstv dlya risovodcheskikh klasterov [Rationale for the composition, type and quantity of technology for rice clusters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 73-78 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-73-78. EDN BNOBRX.

В Республике Узбекистан созданы специализированные рисоводческие кластеры с целью выращивания высокого урожая рисового сырья, его переработки и получения качественных продуктов питания [1]. На этих предприятиях применяются различные технологии возделывания риса: высев семян на сухое поле механическими или пневматическими сеялками; ручной разброс семян на поверхность воды, заливаемой на пал (чек, делянку) рисового поля; посадка рассады специальными машинами [2].

Производственные опыты показали высокую эффективность рассадной технологии риса за счет существенного снижения расхода воды и материально-технических ресурсов, повышения устойчивости растений к заболеваниям и вредителям, сокращения срока созревания и уборки урожая [3]. Тем не менее, масштабы применения этой технологии остаются сравнительно низкими. Одна из основных причин связана с отсутствием у инженерно-технических работников рисоводческих предприятий научно обоснованных актуальных данных об используемых технических средствах для более широкого внедрения рассадного способа.

Цель исследования – обоснование состава, типа и количества средств механизации производственных операций, в том числе при рассадном методе, предусмотренных типовыми технологическими картами выращивания риса.

Материалы и методы. Исследования проведены на примере рисоводческого кластера ООО «TCT RICE» (Ташкентская область, Куйичирчикский район, ГП «Пахтазар») с посевной площадью 2700 га (основной вид деятельности выращивание и переработка риса-сырца).

Рассмотрели основные технологические операции и следующие рекомендуемые технические средства для их выполнения:

- вспашка – пахотные тракторы, машины для глубокого рыхления почвы, плуги;
- подготовка полей к посеву – планировщики, комбинированные машины с активными рабочими органами, бороны зубовые, паллоотделители;
- посадка рассады риса – рассадопосадочные машины;
- возделывание растений – разбрасыватели минеральных и органических удобрений, ручные опрыскиватели;
- уборка урожая – рисоводческие комбайны, пресс-подборщики;
- транспортировка – транспортные тракторы, прицепы.

На рисоводческом комплексе ООО «TCT RICE» применяется рассадопосадочная машина «PRO-600V» (Республика Южная Корея). Основные технические характеристики: число рядков – 6; ширина между рядками – 0,3 м; шаг между рассадой – 0,12-0,21 м; количество рассады на 1 га – 1,4-0,8 млн шт.; количество рассады в одном гнезде – 2-5 шт.; производительность машины за 1 час эксплуатации – 0,4 га; расход топлива – 7,5 л/га; масса – 651 кг.

В исследовании использованы правила монографического наблюдения, анализа и синтеза информации, сопоставительного анализа и методы рациональной эксплуатации машинно-тракторного парка.

Количество машин каждого типа для выполнения конкретной технологической операции определяли по показателям:

- производительность за 1 час сменного времени W_C , га/ч;
- продолжительность смены T_C , ч;



- количество смен n_c ;
- дневная производительность $W_1 = T_C \cdot W_C$, га;
- продолжительность агротехнического сезона операции T_M , дни;
- сезонная производительность $W_M = T_M \cdot W_1$, га;
- нормативный коэффициент (на 1000 га посевной площади) $M_T = 1000 : W_M$, ед.;
- посевная площадь E_M (основная 2700 га).
- количество машин $N = (E_M \cdot M_T) : 1000$, ед.

Значения показателей взяты из протоколов испытаний и результатов хронометража работы машин в полевых условиях.

Результаты и обсуждение. При обосновании состава, типа и количества необходимых для кластера технических средств использовали девять критериев:

- степень соответствия конструкций и технических характеристик агрегатов почвенным условиям рисовых полей;
- высокая производительность (возможность увеличения ширины захвата и рабочей скорости);
- комплексность агрегатов (выполнение двух и более технологических операций за один проход по полю);
- универсальность (выполнение различных операций в течение агрономического года);
- оптимальные условия труда трактористов и комбайнеров;
- возможность ремонта и технического обслуживания машин местными предприятиями;
- ценовая доступность;
- соответствие экологическим требованиям;
- снижение затрат труда.

Исходя из передового опыта рисоводческих кластеров и фермерских хозяйств, определены состав, тип и количество машин для вспашки и подготовки полей к посеву, посадки рассады риса, возделывания растений и уборки урожая в условиях кластера *TCT RICE* [4, 5].

Пахотные гусеничные тракторы типа ВТ-150Д, ХТЗ-181, Беларусь-2103. Гусеничные тракторы имеют высокую проходимость благодаря отсутствию буксования движителей. Площадь контакта гусеницы с почвой значительно больше, поэтому среднее удельное давление на почву меньше, чем пневматического колеса [6].

$$E_M = 2700 \text{ га}; W_C = 0,7 \text{ га/ч}; T_C = 10 \text{ ч};$$

$$W_1 = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{ га}; T_M = 25 \text{ дней}; W_M = 25 \cdot 7 = 175 \text{ га};$$

$$M_T = 1000 : 175 = 5,714 \text{ ед.}$$

$$N = (2700 \cdot 5,714) : 1000 = 15,42 \approx 15 \text{ ед.}$$

Рисоводческие транспортные тракторы типа ТТЗ-100КР, МТЗ-82Р. Эти тракторы созданы специально для рисоводства, имеют колесную формулу 4К4 и высокую проходимость по влажным рисовым полям.

$$E_M = 2700 \text{ га}; \text{исходя из многолетних опытов принимаем } M_T = 12 \text{ ед. [5].}$$

$$N = (2700 \cdot 12) : 1000 = 32,4 \approx 32 \text{ ед.}$$

Машины для глубокого рыхления почвы типа ГРХ-2-50, ГРП-3/5 и ГРП-270/370. В течение агротехнического сезона рыхлители востребованы ограниченный период времени. В практике сельского хозяйства 1/3 часть посевных площадей подвергается глубокому рыхлению один раз за 2-3 года [5].

$$E_M = 2700 : 3 = 900 \text{ га}; T_M = 25 \text{ дней}; W_1 = 14 \text{ га};$$

$$W_M = 14 \cdot 25 = 350 \text{ га}; M_T = 1000 : 350 = 2,857 \text{ ед. [8].}$$

$$N = (900 \cdot 2,857) : 1000 = 2,57 \approx 3 \text{ ед.}$$

Планировщик грунта с лазерными устройствами типа ПЛ-3, ПЛ-3,5 и ПЛ-5. Такие планировщики обеспечивают выравнивание поля с минимальными расходами и затратами. Для расчета целесообразно принять планировщик ПЛ-5 с шириной захвата 5 м. На практике 1/3 часть всей пашни подвергается сплошной планировке один раз за 3-4 года.

$$E_M = 2700/3 = 900 \text{ га}; W_C = 3,5 \text{ га/ч}; T_C = 7 \text{ ч}; n_c = 1;$$

$$W_1 = W_C \cdot T_C \cdot n_c = 3,5 \cdot 7 \cdot 1 = 24,5 \text{ га. } T_M = 10 \text{ дней};$$

$$W_M = 24,5 \cdot 10 = 245 \text{ га}; M_T = 1000 : 245 = 4 \text{ ед.}$$

$$N = (900 \cdot 4) : 1000 = 3,6 \approx 4 \text{ ед.}$$

Разбрасыватель минеральных удобрений типа РМУ-0,5М и 1-РМГ-4Б. Для таких машин $M_T = 3,846$ ед.

$$N = (2700 \cdot 3,846) : 1000 = 10,38 \approx 10 \text{ ед.}$$

Разбрасыватель органических удобрений типа РТП-5-ОУ.СК1 и РОУ-6. Спрос на эти машины определяется необходимостью внесения навоза каждый год на 20% площади рисовых полей [9].

$$E_M = 2700 \cdot 0,2 = 540 \text{ га}; M_T = 10 \text{ ед.}$$

$$N = (540 \cdot 10) : 1000 = 5,4 \approx 5 \text{ ед.}$$

Тракторный прицеп типа АТ-4, 2ПТС-4-887 и 2ПТС-4-793А-01. В данном примере урожай риса, выгружаемый из бункера комбайна, транспортируется на собственный ток. Прицеп разгружается на току и быстро возвращается к месту работы комбайна. Достаточно закрепить на один универсальный рисоводческий транспортный трактор один прицеп [7].

$$N = 32 \text{ ед.}$$

Двухъярусный плуг типа ПЯ-3-35-2, МР-4А-2/3-45 и ПД-4-45. При двухъярусной вспашке обеспечивается полный оборот пласта и лучшая заделка минеральных удобрений, благоприятные условия для разложения органической массы, подавляется отрастание однолетних сорняков. По нормативу на один пахотный трактор нужен один плуг [5]:

$$N = 15 \text{ ед.}$$

Машина для подготовки полей к посеву типа RUBIN9/250 или ZIRKON 7/250. Эти комбинированные машины обеспечивают качественную подготовку почвы за один проход.

$$E_M = 2700 \text{ га}; T_M = 10 \text{ дней}; T_C = 10 \text{ ч}; W_C = 1,75 \text{ га/ч};$$

$$W_1 = 17,5 \text{ га}; W_M = 175 \text{ га}; M_T = 5,714 \text{ ед.}$$

$$N = 15,43 \approx 15 \text{ ед.}$$

Комплект зубовых борон типа БЗСС-1,0, БЗТС-1,0 или БЗТХ-1,0. Комплект используется в рисовых кластерах в основном для вычесывания корневищ сорняков перед посевом [10].

Потребность в технических средствах и оборудовании рисоводческого кластера TCT RICE для возделывания риса на посевной площади 2700 га ASSESSMENT OF TECHNICAL REQUIREMENTS AND EQUIPMENT NEEDS FOR RICE CULTIVATION ACROSS 2700 HECTARES IN THE TCT RICE RICE GROWING CLUSTER				
NN	Технологическая операция, техническое средство Technological operation, technical means	Тип, марка Type, brand	Количество (N), единиц Number (N), units	
			на 1000 га (MT) per 1000 ha (MT)	всего (TT) total (TT)
<i>Вспахивка рисового поля / Rice field plowing</i>				
1	Пахотные гусеничные тракторы Arable tracked tractors	BT-150Д, ХТЗ-181, Беларусь-2103	5,714	15
2	Машины для глубокого рыхления почвы Machines for deep soil loosening	ГРХ-2-50, ГРП-3/5, ГРП-270/370	2,857	3
3	Двухъярусный плуг Double-cut plow	ПЯ-3-35-2, МР-4А-2/3-45, ПД-4-45	15	15
<i>Подготовка полей к посеву / Preparing the fields for sowing</i>				
4	Планировщики грунта с лазерными устройствами Agriculture laser leveling equipment	ПЛ-3, ПЛ-3,5, ПЛ-5	4	4
5	Комплект зубовых борон / Tooth harrow kit	БЗСС-1,0, БЗТС-1,0 или БЗТХ-1,0	2	5
6	Машина для подготовки полей к посеву Machine for pre-sowing tillage	RUBIN 9/250 или ZIRKON 7/250	5,714	15
7	Машина для формирования валков Roll forming machine	КЗУ-03Д	2,164	6
<i>Посадка рассады риса / Planting rice seedlings</i>				
8	Рассадопосадочная машина / Transplanter	PRO-600V	8,333	22
<i>Возделывание растений / Cultivation</i>				
9	Ручной опрыскиватель / Manual sprayer	ОГ-101 «АИДА»	38	102
10	Разбрасыватель минеральных удобрений Mineral fertilizer spreader	РМУ-0,5М, 1-РМГ-4Б	3,846	10
11	Разбрасыватель органических удобрений Manure spreader	РТП-5-ОУ.СК1, РОУ-6	5	5
<i>Уборка урожая / Harvesting</i>				
12	Рисоводческие комбайны Rice harvesters	Енисей (Enisey) 1200НМ, DOMINATOR-204, MEGA, 4LZ- 2.0D	11,11	30
13	Машина для уборки соломы и половы Straw and chaff harvester	Markant-55, Massey Ferguson MF1839XC	2,02	5
<i>Транспортировка / Transportation</i>				
14	Рисоводческие транспортные тракторы Rice transport tractors	ТТЗ-100КР, МТЗ-82Р	12	32
15	Тракторный прицеп Tractor trailer	АТ-4, 2ПТС-4-887, 2ПТС-4-793А-01	32	32
Итого 301 Total 301				

Для комплекта, состоящего из 14 борон, $E_M = 2700$ га; $T_M = 10$ дней; $W_1 = 50$ га; $W_M = 500$ га; $M_T = 2$ ед. $N = 5$ ед.

Машина для поделки валков типа КЗУ-03Д. Для таких машин [10] $W_C = 6,6$ га/ч; $E_M = 2700$ га; $T_C = 7$ ч; $W_1 = 46,2$ га; $T_M = 10$ дней; $W_M = 462$ га; $M_T = 2,164$ ед. $N = 6$ ед.

Рассадопосадочная машина типа PRO-600V. Для таких машин [3] $W_C = 0,4$ га/ч; $T_C = 10$ ч; $W_1 = 4$ га; $T_M = 30$ дней; $W_M = 120$ га; $M_T = 8,333$ шт. $N = 22$ ед.

Ручной опрыскиватель типа ОГ-101 «АИДА». Борьба с болезнями и вредителями на рисоводческих

кластерах осуществляется с помощью таких ручных аппаратов, поскольку невозможно использовать мобильные тракторные опрыскиватели на затлитых водой полях [3]. Для таких аппаратов $W_C = 0,22$ га/ч; $T_C = 6$ ч; число смен $n_C = 2$; дневная производительность одного рабочего $W_1 = 2,64$ га; $T_M = 10$ дней; выработка одного рабочего за сезон $W_M = 26,4$ га; $M_T = 38$ ед.

$N = 102$ ед.

Рисоводческие комбайны типа «Енисей 1200НМ», «DOMINATOR-204», «MEGA», 4LZ-2.0D. Для таких комбайнов $W_1 = 3$ га; $T_M = 30$ дней; $W_M = 90$ га; $M_T = 11,11$ ед. $N = 30$ ед.

Машина для уборки соломы и половы типа «Markant-55», «Massey Ferguson» MF1839XC. Для таких машин [11] $W_C = 1,65$ га/ч; $T_C = 10$ ч; $W_1 = 16,5$ га; $T_M = 30$ дней; $W_M = 495$ га; $M_T = 2,02$ ед.

$N = 5$ ед.

В результате расчетов для каждого вида и типа технического средства составлен сводный перечень требуемых техники и оборудования для производства и переработки риса в условиях рисоводческого кластера ООО «TCT RICE» (таблица).

Данная спецификация включает 15 видов техники при суммарном количестве 301 единица. Кроме этого, проведенные расчеты погектарной потребности в средствах механизации позволяют использовать при планировании парка оборудования для рисоводческих предприятий любого размера.

Выводы. Выявили эффективность выращивания риса рассадным способом, возможности и показате-

ли работы соответствующих машин для осуществления этой технологии. Установили, что отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по выбору состава, типа и количества технических средств является одной из основных причин, сдерживающих механизацию технологических операций, в том числе при возделывании риса на конкретном кластере.

Полная механизация производственного процесса рисоводческого кластера TCT RICE на посевной площади 2700 га достигается путем использования 301 единицы технических средств 15 типов.

Полученные результаты по выбору состава, типа и количества сельскохозяйственных машин являются первичными материалами для составления машинно-тракторных рисоводческих агрегатов и обоснования ремонтно-обслуживающей базы рисоводческих кластеров [12-15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тошболтаев М., Ачилов Дж., Мирзабдуллаев Х. и др. Научно-прикладные принципы обоснования рационального машинного парка и ремонтно-обслуживающей базы для агрокластеров // *Агроилм*. 2022. №2. С. 77-78.
2. Типовые технологические карты по возделыванию сельскохозяйственных растений и выращиванию продуктов на 2016-2020 годы. Ч. I. Ташкент: Научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. 2016. 137 с.
3. Выращивание риса. Ташкент: Агробанк АКБ. 2021. 72 с.
4. Тошболтаев М., Джиянов М. Обоснование составов машин и пунктов технического обслуживания для хлопково-текстильных кластеров. Ташкент: Navro'z. 2021. 100 с.
5. Тошболтаев М. Научно-методологические основы повышения степени использования машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве Узбекистана. Ташкент: Наука и технология. 2016. 604 с.
6. Тракторы и автомобили; под ред. В.А. Скотникова. М.: Агропромиздат. 1985. 440 с.
7. Тошболтаев М., Тухтакузиев А., Хушвактов Б. и др. Регулировка и эффективная эксплуатация хлопководческих и зерноводческих машин; под ред.
8. М. Тошболтаева. Ташкент: Фан. 2012. 200 с.
9. Механизация хлопководства; под ред. М.В. Сабликова. М.: Колос. 1975. 320 с.
10. Саттаров М.А. Рекомендации получения высоких урожаев риса в Узбекистане. Ташкент. 2021. 24 с.
11. Периков Р.Ф., Ахмеджанов М.А., Рудаков Г.М. и др. Справочник по механизации хлопководства. Ташкент: Узбекистан. 1981. 238 с.
12. Сельскохозяйственная техника. Автомобили / Каталог. Ташкент: ИМЭСХ, Muxammad poligraf. 2016. 480 с.
13. Сейтимбетова З. Оценка степени нагружения передвижной мастерской, обслуживающей группы зерноуборочных комбайнов // *Агроилм*. 2017. №1. С. 7-8.
14. Джиянов М. Определение числа периодических технических обслуживаний тракторов // *Агроилм*. 2021. №2. С. 101-103.
15. Муродова З. Выбор показателей оценки мини плуга марки ОР-2-30 // *Сельское и водное хозяйство Узбекистана*. 2021. №10. 45 с.
16. Муродова З. Формирование требований по технико-эксплуатационным свойствам мини-тракторов // *Сельское и водное хозяйство Узбекистана*. 2021. №8. С. 33-34.

REFERENCES

1. Toshboltaev M., Achilov Dzh., Mirzabdullaev Kh., et al. Nauchno-prikladnye printsipy obosnovaniya ratsional'nogo mashinnogo parka i remontno-obsluzhivayushchey bazy dlya agroklastеров [Substantiating scientific and applied principles for developing rational machinery and maintenance infrastructure for agricultural clusters]. *Agroilm*. 2022. №2. 77-78 (In Uzbek).
2. Tipovye tekhnologicheskie karty po vzdelyvaniyu sel'skokhozyajstvennykh rasteniy i vyrashchivaniyu produktov na 2016-2020 gody [Standard technological maps for the cultivation of agricultural plants and products in 2016-2020]. Part. I. Tashkent: Nauchno-issledovatel'skiy institut ekonomiki sel'skogo khozyaystva. 2016. 137 (In Uzbek).
3. Vyrashchivanie risa [Rice cultivation]. Tashkent: Agrobank AKB. 2021. 72 (In Uzbek).
4. Toshboltaev M., Dzhianov M. Obosnovanie sostavov mashin

- i punktov tekhnicheskogo obsluzhivaniya dlya khlopko-vo-tekstil'nykh klasterov [Justifying the composition of machines and maintenance points for cotton-textile clusters]. Tashkent: Navro'z. 2021. 100 (In Uzbek).
5. Toshboltaev M. Nauchno-metodologicheskie osnovy povysheniya stepeni ispol'zovaniya mashinno-traktornogo parka v sel'skom khozyaystve Uzbekistana [Scientific and methodological frameworks for increasing the utilization of agricultural machinery and tractor fleet in Uzbekistan]. Tashkent: Nauka i tekhnologiya. 2016. 604 (In Uzbek).
 6. Traktory i avtomobili [Tractors and automobiles]. Ed. V.A. Skotnikov. Moscow: Agropromizdat. 1985. 440 (In Russian).
 7. Toshboltaev M., Tukhtakuziev A., Khushvaktov B., et al. Regulirovka i effektivnaya ekspluatatsiya khlopkovodcheskikh i zernovodcheskikh mashin [Adjustment and efficient operation of cotton-growing and grain-growing machines]. Ed. M. Toshboltaev. Tashkent: Fan. 2012. 200 (In Uzbek).
 8. Sablikov M.V., Rudakov G.M., Ganiev M.S., Davshan S.M. Mekhanizatsiya khlopkovodstva [Mechanization of cotton growing]. Ed. M.V.Sablikov. Moscow: Kolos. 1975. 320 (In Russian).
 9. Sattarov M.A. Rekomendatsii polucheniya vysokikh urozhayev risa v Uzbekistane [Recommendations for gaining high yields of rice in Uzbekistan]. Tashkent: 2021. 24 (In Uzbek).
 10. Perikov R.F., Akhmedzhanov M.A., Rudakov G.M., et al. Spravochnik po mekhanizatsii khlopkovodstva [Handbook on cotton growing mechanization]. Tashkent: Uzbekistan. 1981. 238 (In Russian).
 11. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika. Avtomobili / Katalog [Agricultural machinery. Cars / Catalog]. Tashkent: IMESKH. Muxammad poligraf. 2016. 480 (In Russian).
 12. Seytimbetova Z. Otsenka stepeni nagruzheniya peredvizhnoy masterskoy, obsluzhivayushchey gruppy zernoborochnykh kombaynov [Evaluating the loading efficiency of a mobile workshop catering to groups of combine harvesters]. *Agroilm.* 2017. N1. 7-8 (In Uzbek).
 13. Dzhiyanov M. Opredelenie chisla periodicheskikh tekhnicheskikh obsluzhivaniy traktorov [Defining the frequency of periodic maintenance for tractors]. *Agroilm.* 2021. N2. 101-103 (In Uzbek).
 14. Murodova Z. Vybora pokazateley otsenki mini pluga marki OR-2-30 [The choice of indicators for assessing OR-2-30 mini plow]. *Sel'skoe i vodnoe khozyaystvo Uzbekistana.* 2021. N10. 45 (In Uzbek).
 15. Murodova Z. Formirovanie trebovaniy po tekhniko-ekspluatatsionnym svoystvam mini-traktorov [Formulating requirements for the technical and operational properties of mini-tractors] *Sel'skoe i vodnoe khozyaystvo Uzbekistana.* 2021. N8. 33-34 (In Uzbek).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Тошболтаев М.Т. – научное руководство, разработка методики исследований, формирование выводов;
Эгамназаров Б. – подбор литературы, выполнение расчетов, оформление материалов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Toshboltaev M.T. – scientific supervision, development of research methodology, formulation of conclusions;
Egamnazarov B. – literature selection, calculations, material design.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

06.07.2023
28.08.2023

Определение толщины сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале при очистке семян сои

Виктор Геннадьевич Хамуев,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: victor250476@yandex.ru;

Станислав Александрович Герасименко,
младший научный сотрудник,
e-mail: stanislav.mkm@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отмечено, что изучение процессов сепарации семян сои в вертикальном глубоком пневмосепарирующем канале способствует повышению технико-экономических показателей в устройствах зерноочистительного оборудования. (*Цель исследования*) Обосновать толщину сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале. (*Материалы и методы*) Использовали разработанный макетный образец вертикального глубокого пневмосепарирующего канала, состоящий из трех секций разной высоты, при очистке семян сои. Обосновывали оптимальную толщину сужающих перегородок в канале. Определяли полноту выделения примеси и эффективность процесса сепарации семян в вертикальном пневмосепарирующем канале при очистке семян сои при максимальной удельной зерновой нагрузке. (*Результаты и обсуждение*) Определили: оптимальная толщина сужающих перегородок составляет 70 миллиметров при максимальной удельной зерновой нагрузке 5 килограммов на один сантиметр квадратный в час. Потери семян не превышают 3 процента в пневмоканале с сужающими перегородками, полнота выделения примеси фракции «Отход» 74 процента. Эффективность процесса сепарации составила 71 процент, чистота фракции «Семена» 81 процент за один проход на предварительной очистке. (*Выводы*) Установили, что применение сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале при очистке семян сои способствует увеличению удельной зерновой нагрузки до 5 килограммов на 1 сантиметр квадратный в 1 час в сравнении с традиционными пневмосепарирующими каналами до 2 килограммов на 1 сантиметр квадратный в час. Предлагаемое техническое решение позволяет уменьшить потери семян сои до 3 процентов (при исходных требованиях не более 10 процентов) за один проход, а также снизить электропотребление машины с 4,5 до 2,25 киловатт-часа.

Ключевые слова: семена, соя, очистка, сепарация, пневматический канал.

■ **Для цитирования:** Хамуев В.Г., Герасименко С.А. Определение толщины сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 79-84. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-79-84. EDN IWHRXD.

Quantifying Narrowing Partition Thickness in a Vertical Deep Aspirating Channel for Soybean Seed Cleaning

Viktor G. Khamuev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: victor250476@yandex.ru;

Stanislav A. Gerasimenko,
junior researcher,
e-mail: stanislav.mkm@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that the study of the soybean seed separation processes in a vertical deep aspirating channel contributes to the improvement of technical and economic indicators in grain cleaning equipment. (*Research purpose*) The research aims to substantiate the thickness of narrowing partitions in the vertical deep aspirating channel. (*Materials and methods*) A prototype of a vertical deep aspirating channel with three sections of varying height, was used for cleaning soybean seeds. The optimal thickness of the narrowing partitions in the channel has been justified. Impurity extraction completeness and seed separation efficiency within a vertical aspirating channel were assessed for soybean seed cleaning under maximum specific grain load conditions. (*Results and discussion*) The following parameters have been determined: the optimal thickness for the narrowing partitions is 70 millimeters under a maximum specific grain load of 5 kilograms per square centimeter per hour. Seed losses do not exceed 3 percent in the aspirating channel with narrowing partitions, with impurity extraction completeness of 74 percent for the «Waste» fraction. The efficiency of the separation process stands at 71 percent, and the purity level of the «Seeds» fraction

reaches 81 percent in a single pass during the preliminary cleaning stage. (*Conclusions*) It has been established that the use of narrowing partitions in a vertical aspirating channel during soybean seed cleaning leads to an increase in the specific grain load up to 5 kilograms per square centimeter per hour, compared to 2 kilograms per square centimeter per hour achieved by traditional pneumatic separation channels. The proposed technical solution reduces soybean seed losses to 3 percent (compared to the initial requirements of no more than 10 percent) in a single pass and reduces machine power consumption from 4.5 to 2.25 kilowatt-hours.

Keywords: seeds, soybeans, cleaning, separation, aspirating channel

For citation: Khamuev V.G., Gerasimenko S.A. Opredelenie tolshchiny suzhayushchikh pereгородок v vertikal'nom pnevmosepariruyushchem kanale [Quantifying narrowing partition thickness in a vertical pneumatic separation channel for soybean seed cleaning]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 79-84 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-79-84. EDN IWHRXD.

Важной проблемой в агропромышленном комплексе по-прежнему остается послеуборочная обработка зерна и подготовка качественных семян. В настоящее время 90% зерноочистительной техники устарело, а обеспеченность оборудованием не превышает 40% [1-5]. Применение машин с решетным станом не приводит к достижению должного качества очистки посевного материала за один проход, так как происходит травмирование семян на решетках (дробление), до 46% семян получают микроповреждения, а решета забиваются семядолями сои [6-13]. Это свидетельствует о необходимости исследований и создания нового оборудования, в котором будут устранены недостатки машин с решетным станом для послеуборочной обработки семян сои [14-16].

Цель исследования – обоснование толщины сужающих перегородок в вертикальном пневмосепарирующем канале.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для исследования изготовлен макетный образец вертикального глубокого пневмосепарирующего канала (рис. 1).

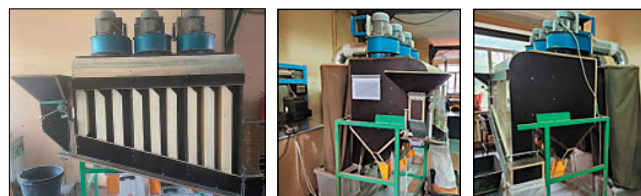


Рис. 1. Вертикальный пневмосепарирующий канал
Fig. 1. A vertical aspirating channel

Макетный образец изготовлен из ламинированной фанеры толщиной 18 мм. Для наблюдения за процессом фронтальная стенка пневмоканала выполнена из оргстекла. На поддерживающую сетку, закрепленную на четырех шарнирах и расположенную в нижней части канала, установили электровибромотор с амплитудой колебаний до 2 мм, что способствует увеличению скорости движения материала вниз по поддерживающей сетке. Геометрические характеристики пневмоканала: глубина – 1326 мм, ширина – 90 мм, высота у входа материала – 560 мм, у выхода –

980 мм. Пневмоканал разделен на три секции, в каждой установлен центробежный вентилятор мощностью 0,75 кВт.

Технические характеристики опытного образца пневматической зерно- и семяочистительной машины

Производительность, т/ч:	
при очистке семян	3
при очистке продовольственного зерна	5
Габаритные размеры, мм	1487×1387×2658
Масса, кг	340
Количество вентиляторов (центробежного типа), шт.	3
Частота вращения ротора электродвигателя, мин ⁻¹	2850
Установленная мощность, кВт	2,25

На рисунке 2 представлена технологическая схема вертикального глубокого пневмосепарирующего устройства.

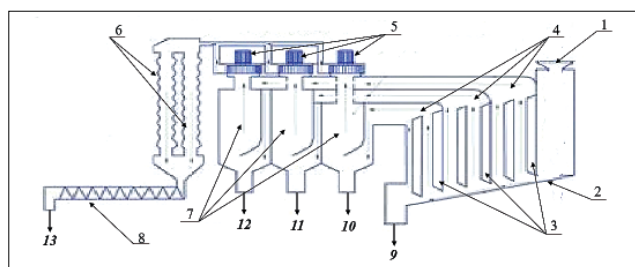


Рис. 2. Конструктивно-компоновочная схема макетного образца очистителя семян сои: 1 – приемный бункер; 2 – поддерживающая сетка; 3 – сужающие перегородки; 4 – секции пневматического канала; 5 – вентиляторы; 6 – фильтры; 7 – осадочные камеры; 8 – пылесборники; 9 – очищенные семена сои; 10 – легкая примесь; 11 – фураж сои; 12 – половинки сои; 13 – пыль

Fig. 2. Structural and layout diagram of a prototype soybean seed cleaner: 1 – receiving hopper; 2 – supporting mesh; 3 – narrowing partitions; 4 – sections of the pneumatic channel; 5 – fans; 6 – filters; 7 – sedimentary chambers; 8 – dust collectors; 9 – purified soybean seeds; 10 – light admixture; 11 – soybean fodder; 12 – soy halves; 13 – dust

Исходный материал подается в приемный бункер 1 и затем поступает на поддерживающую сетку 2 в секции пневматического канала 4 с сужающими перегородками 3. Под воздействием воздушных потоков, создаваемых вентиляторами 5, загрязненный воздушный поток очищается на фильтрах 6, оседает в пылесборниках 8 и выводится в фракцию «Пыль» 13. В осадочных камерах 7 происходит выделение легких примесей 10, фуража сои 11 и половинок сои 12. Очищенные семена 9, перемещаясь по поддерживающей сетке, выводятся из машины.

Исследование проводили при постоянной удельной зерновой нагрузке $2 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$, разным соотношении выходов в каждой секции канала фракции «Отход» и удельной зерновой нагрузке от $0,5$ до $7 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$.

В исследованиях использовали зерновую смесь влажностью 12%, состоящую из семян сои чистотой 92,8%, легкой примеси – 0,8%, крупной примеси – 0,6%, битых вдоль семян – 2,6%, битых поперек семян – 1,9%, семян других культур – 0,5%, мелких и щуплых семян сои – 0,8%. Опыты проводились в трехкратной повторности при точности менее 5% и доверительной вероятности 0,9.

Результаты и обсуждение. Для определения оптимальной толщины сужающих перегородок в пневматическом канале устанавливали в каждую секцию сужающие перегородки толщиной 20, 40, 50, 60, 70, 90 мм при постоянной удельной зерновой нагрузке $2 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$, но разным соотношении выхода: 1,5; 3; 5; 10; 15 и 20%. После того как определили оптимальную ширину сужающих перегородок, в пневмоканал устанавливали другие рабочие органы (пластины-барьеры) на высоте 50 мм над поддерживающей сеткой и по аналогии проводили измерения. В третьем варианте канал оставался свободным, без сужающих перегородок и пластин-барьеров.

Эффективность процесса сепарации оценивали показателем Г.В. Ньютона и В.Г. Ньютона [17]:

$$E = \varepsilon - \zeta,$$

где $\varepsilon = (b_d/b) \cdot 100$ – полнота выделения примеси, %;

$$\zeta = (a_d/a) \cdot 100 \text{ – потери семян сои, \%};$$

b_d и b – масса примеси в фракции «Отход» и исходном материале, г;

a_d и a – масса семян сои в фракции «Отход» и исходном материале, г.

При толщине перегородок 70 мм достигаются максимальные полнота выделения примеси и эффективность процесса сепарации (рис. 3). В связи с этим дальнейшие опыты проводились при данной толщине сужения.

Для определения максимальной зерновой нагрузки проводили сравнительные исследования в глубоком пневмоканале с различными рабочими органами: сужающими перегородками толщиной в 70 мм, пластин-барьерами и в пустом канале (рис. 4).

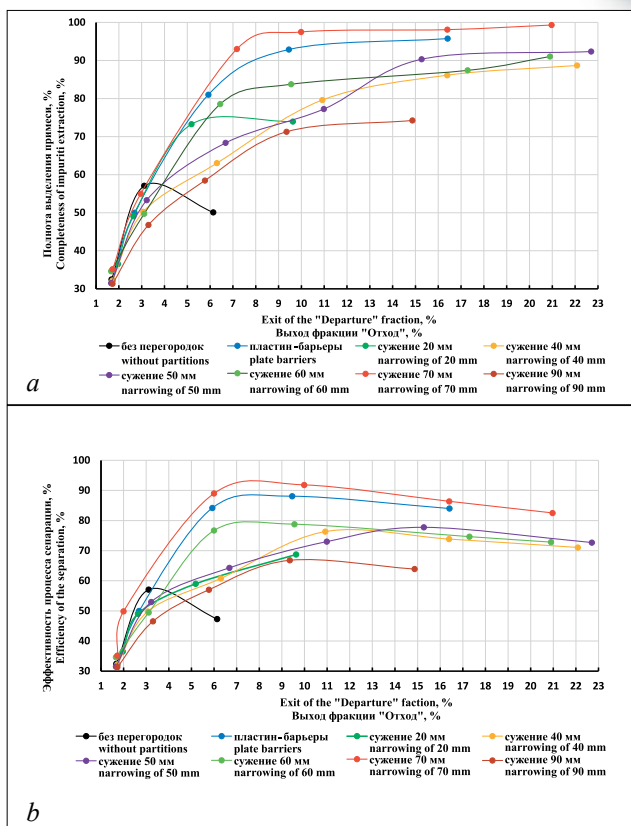


Рис. 3. Определение оптимальной толщины сужающих перегородок в пневматическом канале при постоянной удельной зерновой нагрузке по показателям полноты выделения примеси (а) и эффективности процесса сепарации (б)

Fig. 3. Identification of the optimal thickness of the narrowing partitions in an aspirating channel at a constant specific grain load according to the impurity extraction completeness (a) and the separation process efficiency (b)

Максимальная удельная зерновая нагрузка в канале с сужающими перегородками 70 мм составляет $5 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$. При этом потери семян не превышают 3%, полнота выделения примеси 74%, а эффективность процесса сепарации достигает 71% за один проход с чистой фракции «Семена» 81% на предварительной очистке.

При использовании пластин-барьеров при нагрузке $5 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$ происходит скопление материала (завал) у задней стенки канала и эффективность процесса снижается до 45%. Такой же эффект наблюдается в пустом канале уже при нагрузке $4 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$, а эффективность процесса снижается до 23%. Это свидетельствует о более высокой интенсивности процесса сепарации в канале с сужающими перегородками в сравнении с пластин-барьерами и пустым каналом.

По полученным результатам построены зависимости интенсивности процесса сепарации (α) от удельной зерновой нагрузки q , и для каждого канала получены уравнения этих зависимостей в линейном и логарифмическом виде (рис. 5).

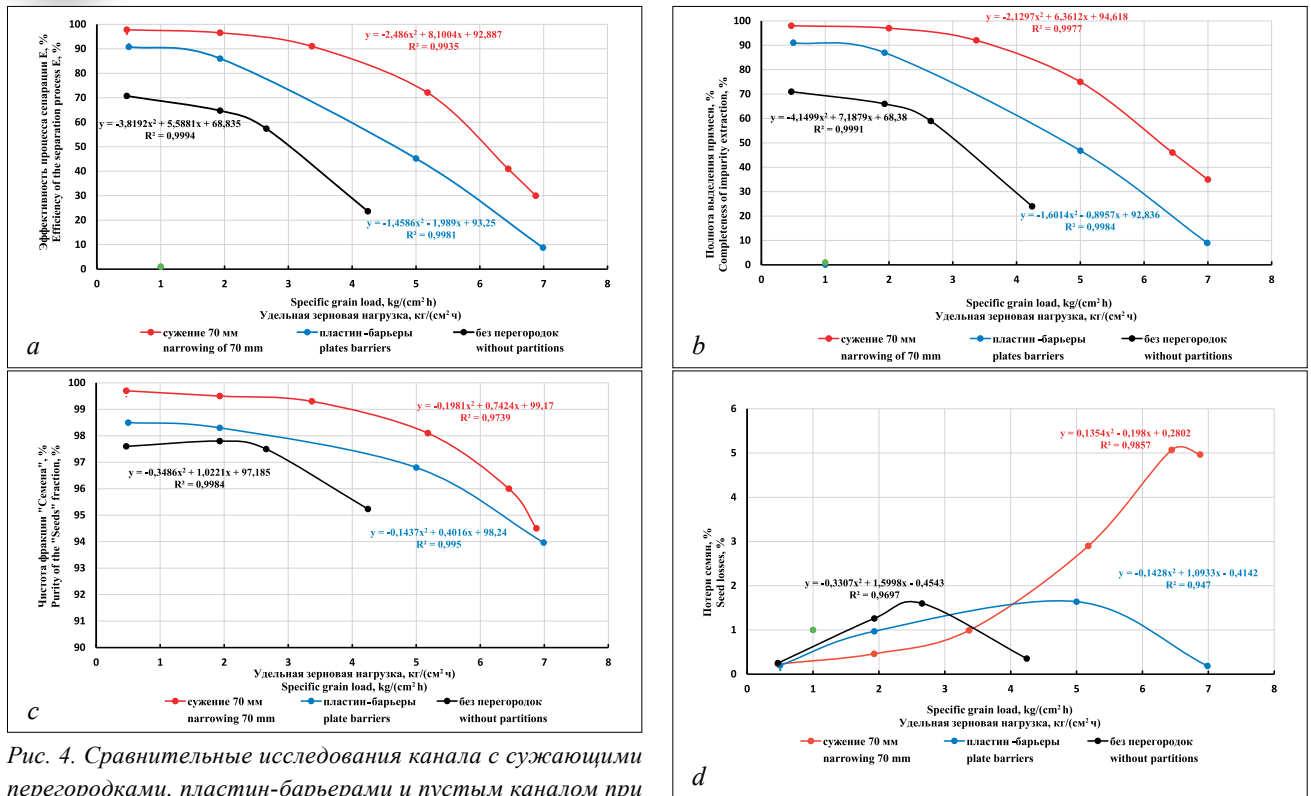


Рис. 4. Сравнительные исследования канала с сужающимися перегородками, пластин-барьерами и пустым каналом при разной удельной зерновой нагрузке: а – эффективность процесса сепарации; б – полнота выделения примесей; с – чистота фракции «Семена»; д – потери семян
Fig. 4. Comparative examination of a channel with narrowing partitions, plate barriers and an empty channel at different specific grain loads: a – separation process efficiency; b – impurity extraction completeness; c – «Seed» fraction purity; d – seed losses

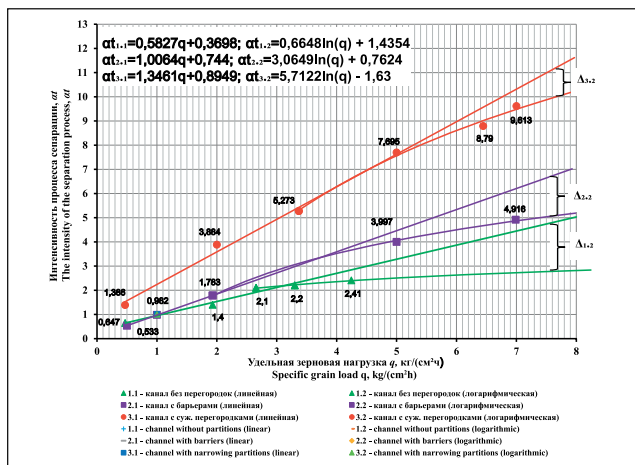


Рис. 5. Зависимость интенсивности процесса сепарации от удельной зерновой нагрузки
Fig. 5. Dependence between separation process intensity and specific grain load

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производства техники для селекции и семеноводства – одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машино-

Установлено, что в пневмосепарирующих каналах при зерновой нагрузке от 0,5 до 2 кг/(см²·ч) интенсивность процесса сепарации увеличивается линейно, при более 2 кг/(см²·ч) – снижается. На графике (рис. 5) отклонение этого показателя описано логарифмической функцией при отклонении от линейной функции. Так, в канале с сужающимися перегородками отклонение наблюдается при удельной зерновой нагрузке 5 кг/(см²·ч), с пластин-барьерами при 4 кг/(см²·ч), в пустом канале при 3,2 кг/(см²·ч). Соответственно, чем меньше отклонение Δ, тем интенсивность процесса сепарации выше.

Выводы. Пневмосепарирующий канал с вертикально-восходящим воздушным потоком и установленными в нем сужающимися перегородками шириной 70 мм способствует увеличению удельной зерновой нагрузки до 5 кг/(см²·ч) в сравнении с традиционными пневмосепарирующими каналами при нагрузке до 2 кг/(см²·ч) [18].

Использование сужающих перегородок 70 мм позволяет сократить потери семян сои до 3% (исходные требования не более 10% потерь) за один проход на предварительной очистке. Электропотребление снижается до 2,25 кВт·ч по сравнению с 4,5 кВт·ч при установке пластин-барьеров и пустым каналом.

строения. Состояние и развитие регионального сельхозмашиностроения. М.: Росинформагротех. 2010. С. 96-103.

2. Хамуев В.Г. Распределение скоростей воздушного потока в глубоком пневмосепарирующем канале // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N4. С. 12-15.
3. Хамуев В.Г., Герасименко С.А. Обоснование конструктивно-компоновочной схемы гравитационно-пневматического очистителя семян сои // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N3. С. 27-32.
4. Хамуев В.Г., Московский М.Н., Борзенко С.И., Герасименко С.А. Исследование распределения скоростей воздушного потока в модели аспирационного канала для высокозасоренной соевой продукции // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N2 (47). С. 86-90.
5. Щучка Р.В. Проблематика возделывания сои в условиях расширения посевных площадей Центрально-Черноземной зоны // *Заметки ученого*. 2022. N2. С. 123-127.
6. Иванов А.А., Алексеева С.Н., Чуворкина Т.Н., Кадыкова О.Ф. Развитие производства зернобобовых культур и сои – фактор динамичного развития аграрного сектора региона на примере Пензенской области // *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2021. Т. 7. N3(27). С. 284-295.
7. Ткаченко М.А., Волкова А.С., Гненный Е.Ю., Вусик А.С. Динамика изменения посевных площадей в России некоторых технических культур // *Colloquium-journal*. 2021. N3-2(90). С. 50-52.
8. Синеговский М.О. Современное состояние производства сои в Амурской области // *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2015. N3 (163). С. 86-90.
9. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Производство зернобобовых и крупяных культур в России: состояние, проблемы, перспективы // *Земледелие*. 2015. N4. С. 3-5.
10. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of quality improvement in wheat seed processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4 (2013)
11. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Res. Agr. Eng.* 6. 62(2016). 56-63.
12. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J. [et al.]. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Res. Agr. Eng.* 2008. N54(2). 50-57.
13. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N1. С. 11-14.
14. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25.
15. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Часть 1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ. 2019. 228 с.
16. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Эволюция зерно-семяочистительной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N1. С. 24-33.
17. Ньютон Г.В., Ньютон В.Г. Исследование эффективности классификации // *Труды Всесоюзного Дома ученых*. М.: АН СССР. 1937. Вып. 2. С. 59-74.
18. Малис А.Я., Демидов А.Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. М.: Машгиз, 1962. 176 с.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Razvitie proizvodstva tekhniki dlya selektsii i semenovodstva – odna iz prioritnykh zadach sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya. [Advancing Agricultural Engineering: A Focus on Priority Task - Innovations in Breeding and Seed Production Equipment Development]. Sostoyanie i razvitie regional'nogo sel'khoz mashinostroeniya. Moscow. Rosinformagrotekh. 2010 (In Russian).
2. Khamuev V.G. Raspredelenie skorostey vozdušnogo potoka v glubokom pnevmosepariruyushchem kanale [Distribution of an air stream in the deep aspirating channel]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N4. 12-15 (In Russian).
3. Khamuev V.G., Gerasimenko S.A. Obosnovanie konstruktivno-komponovochnoy skhemy gravitacionno-pnevmaticheskogo ochistitelya semyan soi [Substantiation of the main parameters of a gravity column when cleaning soybean seeds]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N3. 27-32 (In Russian).
4. Khamuev V.G., Moskovskiy M.N., Borzenko S.I., Gerasimenko S.A. Issledovanie raspredeleniya skorostey vozdušnogo potoka v modeli aspiratsionnogo kanala dlya vysokozasorennoy soevoy produktsii [The spreading of air flow velocities in the aspiration channel model for highly clogged soy products]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2022. Vol. 69. N2(47). 86-90 (In Russian).
5. Shchuchka R.V. Problematika vozdeleyvaniya soi v usloviyakh rasshireniya posevnykh ploshchadey Central'no-Chernozemnoy zony [Soybean cultivation problems under the expansion of cropland areas in the Central Chernozem zone]. *Zametki uchenogo*. 2022. N2. 123-127 (In Russian).
6. Ivanov A.A., Alekseeva S.N., Chuvorkina T.N., Kadykova O.F. Razvitie proizvodstva zernobobovykh kul'tur i soi – faktor dinamichnogo razvitiya agrarnogo sektora regiona na primere Penzenskoy oblasti [Enhancing agricultural sector dynamics through leguminous crop and soybean production development: a case study of the Penza region]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki*. 2021. Vol. 7. N3(27). 284-295 (In Russian).

7. Tkachenko M.A., Volkova A.S., Gnenny E.Yu., Vusik A.S. Dinamika izmeneniya posevnykh ploshchadey v Rossii nekotorykh tekhnicheskikh kul'tur [Dynamics of crop areas in russia of some technical crops]. *Colloquium-journal*. 2021. N3-2(90). 50-52 (In Russian).
8. Sinegovsky M.O. Sovremennoe sostoyanie proizvodstva soi v Amurskoy oblasti [A modern state of soybean production in Amur region]. *Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2015. N3(163). 86-90 (In Russian).
9. Zotikov V.I., Naumkina T.S., Sidorenko V.S. Proizvodstvo zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy [Legumes and groat crops production in Russia: state, problems, perspectives]. *Zemledelie*. 2015. N4. 3-5 (In Russian).
10. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of quality improvement in wheat seed processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 50. N4. (In English).
11. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 6. 62(2016). 56-63 (In English).
12. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., et al. Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008. 54(2). 50-57 (In English).
13. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rasteniyevodstve [Initial requirements for technological operations in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. N1. 11-14 (In Russian).
14. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 17-25 (In English).
15. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa [Innovative system of machine and technological support of agroindustrial enterprises]. Part. 1. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy na dlitel'nyu perspektivu. Moscow: 2019. 228 (In Russian).
16. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Evolyutsiya zerno- i semyaochistitel'noy tekhniki v Rossii [Evolution of grain and seed cleaning equipment in Russia]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N1. 24-33 (In Russian).
17. Newton G.V., Newton V.G. Issledovanie effektivnosti klassifikatsii [Investigation of classification efficiency]. *Trudy Vsesoyuznogo Doma uchenykh*. Moscow. AS USSR. 1937. N2. 59-74 (In Russian).
18. Malis A.Ya, Demidov A.R. Mashiny dlya ochistki zerna vozdushnym potokom [Machines for cleaning grain by air flow]. Moscow. Mashgiz. 1962. 176 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Хамуев В.Г. – научное руководство, проведение опыта, формирование общих выводов, обобщение данных литературы, итоговая переработка статьи;

Герасименко С.А. – проведение опыта, обработка данных опыта, составление начального варианта статьи, литературный анализ, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Khamuev V.G. – scientific supervision, conducting the experiment, formulation of general conclusions, synthesis of literature data, final revision of the manuscript;

Gerasimenko S.A. – conducting the experiment, processing of experimental data, drafting the initial version of the manuscript, literature review, manuscript refinement

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

07.07.2023
31.08.2023

Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка

Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук, академик РАН,
e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru;

Александр Геннадьевич Аксенов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: 1053vim@mail.ru;

Алексей Викторович Сибирев,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;

Андрей Григорьевич Пономарев,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: agrodisel@mail.ru;

Николай Викторович Сазонов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что совершенствование конструкции сепарирующих устройств машин для уборки лука путем установки различных типов интенсификаторов сепарации не в полной мере повышает качество очистки товарной продукции. Отметили необходимость соблюдения жестких технологических параметров настройки сепарирующих систем (подача лукович на штифтовое полотно без потерь, снижение максимальной скорости соударения с рабочими элементами установки, улучшение полноты очистки). Показали, что одним из вариантов интенсификации очистки лука-севка от почвы и соизмеримых с ним почвенных комков может стать увлажнение вороха при сепарации с ультразвуковым воздействием. (*Цель исследования*) Определить теоретические закономерности интенсификации очистки лука-севка от механических примесей. (*Материалы и методы*) Использовали методы системного анализа и синтеза, физического моделирования, основанные на теории вероятности и принципах математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, методы классической механики – основные положения теории разрушения, механики грунтов. (*Результаты и обсуждение*) Обосновали необходимый рациональный режим интенсификации уборки лука-севка и очистки его от механических примесей, функциональную схему машины для уборки лука выкапывающего типа с модулем ультразвуковой очистки, учитывающую функции состояния, внешнего и управляющего воздействий, а также показатели качества работы. (*Выводы*) Разработали конструктивную схему сепарирующего модуля уборочной машины с ультразвуковым воздействием для совершенствования процесса очистки лука-севка, исходя из условий максимального просеивания почвенных и других примесей в пределах агротехнических требований (не менее 98 процентов), а также сокращения до минимума потерь (не более 2 процентов) и повреждений лукович (не более 2 процентов).

Ключевые слова: уборка лука-севка, комки почвы, сепарация с ультразвуковым воздействием, система сепарации, модуль ультразвуковой очистки, прутковый элеватор, пальчатая горка.

■ **Для цитирования:** Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Пономарев А.Г., Сазонов Н.В. Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 85-92. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92. EDN ITQKLE.

Theoretical Foundations for Intensifying Onion Set Harvesting

Aleksey S. Dorokhov,
Dr.Sc.(Eng.), member of the Russian Academy
of Sciences,
e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru;

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

Aleksey V. Sibirev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;

Andrey G. Ponomarev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: agrodisel@mail.ru;
Nikolai V. Sazonov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows that upgrading the design of onion harvesting machines through the integration of diverse separation intensifiers demonstrates limited efficacy in improving the quality of cleaning commercial produce. They noted the need to comply with strict technological parameters for setting up separating systems (feeding bulbs to a straight section of the pin web surface in the absence of losses, reducing the maximum speed of collision of the bulbs with the working elements of the cleaning unit to reduce damage, as well as improving the completeness of cleaning). The study reveals that one of the options for intensifying the process of onion set cleaning from soil and soil clods can be ultrasonic-assisted heap moistening during separation. (*Research purpose*) The research aims to determine theoretical principles driving the intensification of onion set cleaning from mechanical impurities. (*Materials and methods*) The research employed system analysis and synthesis methods, physical modeling based on probability theory and mathematical statistics, numerical techniques for solving analytical dependencies, classical mechanics methods - fundamental principles of fracture theory, soil mechanics. (*Results and discussion*) The paper justifies the necessary optimum regime for intensifying onion set harvesting and cleansing them from mechanical impurities. It substantiates the functional diagram of a digging-type onion harvester featuring an ultrasonic cleaning module, taking into account the functions of the state, external and control actions, as well as performance indicators. (*Conclusions*) The research resulted in developing a design concept for an ultrasonic-equipped separating module of a harvester to improve the onion set cleaning process. This design conforms to the agrotechnical requirements, ensuring maximum soil and impurity sieving (at least 98 percent), minimizing losses (not exceeding 2 percent) and bulb damage (not exceeding 2 percent).

Keywords: onion set harvesting, soil clods, ultrasonic separation, separation system, ultrasonic cleaning module, rod elevator, finger conveyor.

■ **For citation:** Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V., Ponomarev A.G., Sazonov N.V. Teoreticheskie predposylki intensivifikatsii uborki luka-sevka [Theoretical foundations for intensifying onion set harvesting]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 85-92 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92. EDN ITQKLE.

К особенностям физико-механических свойств луковиц, в первую очередь лука-севка, можно отнести их малые размеры (10-30 мм), что выдвигает специфические требования к уборочным машинам – способность отделять почвенные комки, соизмеримые по размерам с луковицами [1-3]. Чтобы исключить подачу переуплотненных почвенных слоев на сепарирующие рабочие органы уборочной машины, необходимо уменьшать глубину подкапывания почвенного пласта с сохранением качественных показателей извлеченной товарной продукции из почвы. Для качественной сепарации корнеплодов и луковиц от механических примесей требуется выполнить немало условий по регулировке технологических параметров рабочих органов уборочных машин. [4, 5].

Сепарирующие рабочие органы уборочных машин не способны выделить из почвенно-растительного вороха, комки почвы соизмеримые с мелкими луковицами лука-севка. Так, устройства первичной сепарации в большинстве своем представлены прутковыми элеваторами, через щелевые отверстия которых проходят почвенные примеси размером менее 10 мм, а крупные и соизмеримые с луковицами комки (более 10 мм) выносятся на устройства вторичной сепарации, как правило оборудованные пальчатыми горками. Принцип работы таких устройств основан на разделении с учетом различий по коэффициентам трения скольжения и качения, что также не обеспечивает полного решения рассматриваемой задачи [6-8]. Данное обстоятельство указывает на невозможность полного выделения из вороха лука-севка почвенных и растительных примесей [9-11].

Качество машинной уборки можно повысить путем предварительного полива почвы с нормой расхода воды 210-280 м³/га [12]. Однако это направление снижения содержания почвенных комков сдвигает сроки уборки, так как после полива необходима 2-4-суточная естественная подсушка поверхности почвы.

Одним из вариантов интенсификации процесса очистки луковиц от соизмеримых с ними почвенных комков можно назвать увлажнение вороха при сепарации [12].

Чтобы в перспективе устранить недостатки существующих способов сепарации лука-севка от механических примесей, необходимо выполнить теоретические исследования по обоснованию процессов интенсификации этого процесса.

Цель исследований – определение теоретических закономерностей интенсификации очистки лука-севка от механических примесей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В работе использовали методы системного анализа и синтеза, физического моделирования, основанные на теории вероятности и принципах математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, методы классической механики – основные положения теории разрушения, механики грунтов.

Так как сепарирующая поверхность функционирующих элементов уборочных машин образована набором колосниковых элементов диаметром d_n с различным межпругковым расстоянием S_n , что обусловлено размерными характеристиками лука-севка, условия разделения почвенных и механических примесей будут следующие (рис. 1):

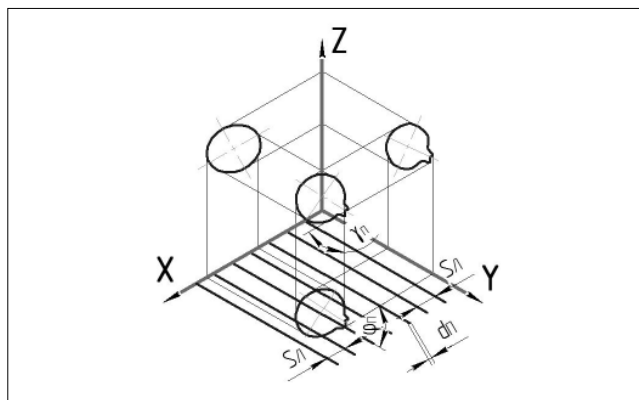


Рис. 1. Схема к определению вероятности прохождения луковицы через просветы пруткового элеватора: d_{π} – диаметр колосникового элемента, м; S_{π} – межпрутковое расстояние, м; φ_{π} – угол расположения луковицы на прутковой поверхности в горизонтальной плоскости, град.; γ_{π} – угол расположения луковицы на прутковой поверхности в вертикальной плоскости, град.

Fig. 1. Diagram for determining the probability of a bulb passing through the gaps of a rod elevator: d_{π} – diameter of the grate element, m; S_{π} – rod spacing, m; φ_{π} – the angle of the bulb's position on the rod surface in the horizontal plane, degrees; γ_{π} – the angle of the bulb's position on the rod surface in the vertical plane, degrees

- максимальное просеивание почвенных и других примесей в пределах агротехнических требований (не менее 98%);

- сокращение до минимума потерь (не более 2%) и повреждений луковицы (не более 2%) [12, 13].

Выполнение первого условия возможно при увеличении межпруткового расстояния до размеров прохода мелких почвенных комков (не менее 10 мм) между колосниками сепарирующего устройства. В то же время для соблюдения второго условия необходимо уменьшить динамическое воздействие и расстояние между прутками рабочих органов очистки с целью снижения кинетической энергии и, как следствие, повреждений луковицы при соударении с прутками полотна.

Варьирование углов φ_{π} и γ_{π} в диапазоне от 0 до 180° характеризует вероятность прохода луковиц и комков почвы через щелевые отверстия. Если эти углы равны 0-30°, то происходит сход луковиц, а если 30-90°, то наблюдается их западание.

Результаты и обсуждение. Кинетическая энергия T_1 материальной точки в начальный момент времени при воздействии интенсификатора в момент подъема с поверхности полотна определяется по формуле (рис. 2):

$$T_1 = \frac{1}{2} m_B \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} m_B \cdot \omega_{эл}^2 \cdot r_A^2 - g^2, \quad (1)$$

где m_B – масса вороха, кг;

v_1 – начальная скорость перемещения материальной точки M в момент времени t_1 (повторного соприкосновения с прутковым элеватором), м/с;

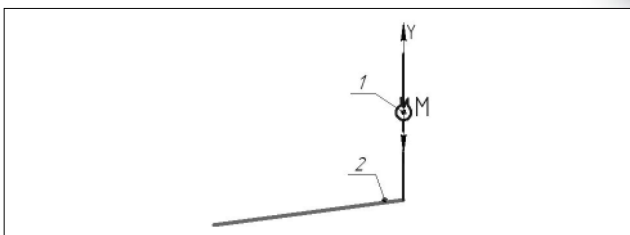


Рис. 2. Схема к определению скорости луковицы в момент взаимодействия с прутковым элеватором: 1 – луковица; 2 – элеватор прутковый; M – материальная точка

Fig. 2. Diagram for determining the bulb speed at the time of interaction with the rod elevator: 1 – bulb; 2 – rod elevator; M – point particle

$\omega_{эл}$ – круговая скорость колебаний полотна пруткового элеватора, c^{-1} ;

r_A – амплитуда колебаний полотна пруткового элеватора, м;

g – ускорение свободного падения материальной точки, $м/с^2$.

В конечном положении при падении на полотно пруткового элеватора материальная точка приобретает скорость v_2 . Следовательно, кинетическую энергию можно определить из выражения:

$$T_2 = \frac{1}{2} m_B \cdot v_2^2, \quad (2)$$

где v_2 – конечная скорость материальной точки M в момент времени t_2 (достижения противоположной стороны пруткового элеватора), м/с.

При установленной схеме машины для уборки лука с устройствами первичной и вторичной сепарации в различных исполнениях выделение механических примесей происходит при условии:

$$S_{\pi} \leq d_K, \quad (3)$$

где d_K – минимальный диаметр луковицы, м.

Вероятность западания луковиц на колосники пруткового элеватора составляет [14]:

$$P = \frac{8}{\pi^2 \cdot S_{\pi}} \int_{\varphi_{\pi 1}}^{\varphi_{\pi 2}} \int_{\gamma_{\pi 1}}^{\gamma_{\pi 2}} \frac{d_K \cdot \sin \varphi_{\pi} \cdot \sin \gamma_{\pi} - S_{\pi}}{2} d\varphi_{\pi} d\gamma_{\pi}, \quad (4)$$

где φ_{π} – угол между горизонтальной проекцией луковицы и прутками элеватора, град;

γ_{π} – угол между вертикальной проекцией луковицы и прутками элеватора, град.

Положение луковиц на поверхности пруткового элеватора при западании в щелевые отверстия и сходе с поверхности характеризуется углами между горизонтальной ($\varphi_{\pi 1}$, $\varphi_{\pi 2}$) и вертикальной ($\gamma_{\pi 1}$, $\gamma_{\pi 2}$) проекциями луковицы, которые рассчитываются по формулам:

$$\varphi_{\pi 1} = \arcsin \frac{S_{\pi}}{d_K \cdot \sin \gamma_{\pi}}, \quad (5)$$

$$\varphi_{\pi 2} = \arcsin \frac{2 S_{\pi}}{d_K \cdot \sin \gamma_{\pi}}, \quad (6)$$

$$\gamma_{\Pi 1} = \arcsin \frac{S_{\text{Л}}}{d_{\text{К}} \cdot \sin \varphi_{\Pi}} \quad (7)$$

$$\gamma_{\Pi 1} = \arcsin \frac{2S_{\text{Л}}}{d_{\text{К}} \cdot \sin \varphi_{\Pi}} \quad (8)$$

Вероятность P' отсутствия потерь товарной продукции через отверстия, образованные колосниками сепарирующего устройства [14]:

$$P' = \frac{\pi - 2\eta_2}{\pi} + \frac{2d_{\text{К}}}{\pi^2 \cdot S_{\text{Л}}} \cdot (\eta_2 - \eta_1) - \frac{d_{\text{К}}}{\pi^2 \cdot S_{\text{Л}}} \cdot (\sin 2\eta_2 - \sin 2\eta_1) - \frac{4}{\pi^2} \cdot (\eta_2 - \eta_1), \quad (9)$$

где η_1, η_2 – положение лукович на прутковом элеваторе при западании в щелевые отверстия и сходе с поверхности соответственно, град.:

$$\eta_1 = \arcsin \sqrt{\frac{S_{\text{Л}}}{d_{\text{К}}}} \quad (10)$$

$$\eta_2 = \arcsin \sqrt{\frac{2S_{\text{Л}}}{d_{\text{К}}}} \quad (11)$$

Масса вороха товарной продукции при завершении процесса сепарации

$$m_{\text{СХэл}} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot P', \quad (12)$$

где m_1 – комки почвы, соизмеримые по размерам с луковичами, кг;

m_2 – крупные почвенные комки, кг;

m_3 – луковичи, кг;

m_4 – растительные примеси, кг.

Вероятность западания товарной продукции в щелевые отверстия между колосниками

$$P'_{\Pi} = 1 - P' \quad (13)$$

определяет массу вороха при завершении процесса сепарации с учетом вероятности западания в щелевые отверстия пруткового элеватора и вероятности отсутствия потерь продукции, то есть предопределяет вероятность требуемой максимальной очистки.

Масса мелких почвенных примесей с минимальными размерами, обуславливающими прохождение через щелевые отверстия, определяется по формуле:

$$m_5 = m_{\text{Вп}} - m_{\text{СХэл}}, \quad (14)$$

где $m_{\text{Вп}}$ – масса вороха лукович, поступающего с подкапывающих на сепарирующие рабочие органы, кг.

$$m_{\text{Вп}} = \frac{Q_{\text{Вп}} \cdot l_{\Pi}}{v_{\text{Л}}}, \quad (15)$$

где $Q_{\text{Вп}}$ – интенсивность подачи лукович, кг/с;

l_{Π} – длина подкапывающего лемеха, м;

$v_{\text{Л}}$ – поступательная скорость движения подкапывающего лемеха, м/с.

Проход комка почвы через щелевые отверстия элеватора (рис. 3) определяется условием:

$$d_{\text{п}} < S_{\text{Л}}, \quad (16)$$

где $d_{\text{п}}$ – диаметр частицы почвы, м.

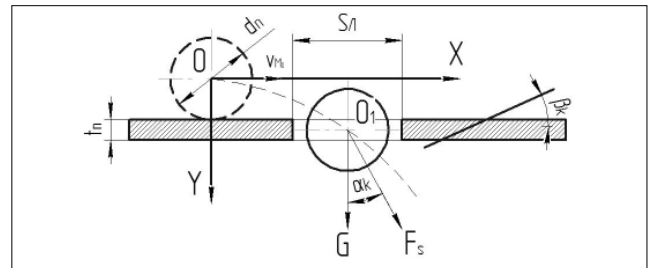


Рис. 3. Схема прохода частицы по сепарирующей поверхности: t_{Π} – толщина полотна пруткового элеватора, м; $v_{\text{Ма}}$ – переносная скорость движения луковичи, м/с; G – сила тяжести, Н; $F_{\text{С}}$ – сила воздействия луково-почвенного вороха, Н; $\alpha_{\text{к}}$ – угол между силой тяжести G и силой $F_{\text{С}}$ воздействия луково-почвенного вороха, град.; $\beta_{\text{к}}$ – угол между нормалью и поверхностью полотна пруткового элеватора, град.

Fig. 3. Diagram illustrating particle passage across separating surface: t_{Π} – thickness of the rod elevator web, m; $v_{\text{Ма}}$ – transport speed of the bulb, m/s; G – gravity, N; $F_{\text{С}}$ – force of onion-soil heap impact, N; $\alpha_{\text{к}}$ – angle between force of gravity G and force of onion-soil heap impact $F_{\text{С}}$, degrees; $\beta_{\text{к}}$ – angle between the normal and the surface of the rod elevator web, degrees

При западании луковичи в межпрутковое расстояние и ее перемещении из точки O в O_1 на нее действуют сила тяжести G и сила $F_{\text{С}}$ под углом $\alpha_{\text{к}}$ к нормали $\beta_{\text{к}}$ сепарирующей поверхности:

$$F_{\text{С}} = m_1 \cdot a_{\text{С}}, \quad (17)$$

где $a_{\text{С}}$ – ускорение частицы при прохождении над отверстием, м/с^2 .

Материальная точка совершает движение над отверстием $S_{\text{Л}}$, образованным смежными прутками согласно системе уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} = v_{\text{Ма}} \cdot \sin \alpha_{\text{к}}, \\ \ddot{y} = v_{\text{Ма}} \cdot \cos \alpha_{\text{к}}, \end{cases} \quad (18)$$

где $v_{\text{Ма}}$ – переносная скорость движения луковичи, м/с; $F_{\text{С}}$ – сила воздействия луково-почвенного вороха, Н; $\alpha_{\text{к}}$ – угол между силой тяжести G и силой $F_{\text{С}}$ воздействия луково-почвенного вороха, град.

Учитывая, что $a_{\text{С}} = \text{const}$, и принимая $v_{\text{Ма}} = 0$, уравнение движения частицы почвы выглядит следующим образом [13, 14]:

$$x = y \cdot \text{tg} \alpha_{\text{к}} + v_{\text{Ма}} \sqrt{\frac{2g}{a_{\text{С}} \cdot \cos \alpha_{\text{к}}}} \quad (19)$$

После соответствующих преобразований формула для определения максимальной скорости движения частицы почвы $v_{\text{Ма}}$ принимает вид:

$$v_{\text{Ма} \text{ max}} = \frac{1}{2} \cdot [S_{\text{Л}} - (d_{\text{н}} + t_{\text{н}}) \cdot \text{tg} \alpha_{\text{к}}] \cdot \sqrt{\frac{a_{\text{С}} \cdot \cos \alpha_{\text{к}}}{d_{\text{н}} + t_{\text{н}}}} \quad (20)$$

В случае превышения предельного значения скорости комков почвы проходит через отверстие $S_{\text{Л}}$, образованное смежными прутками сепарирующего устройства. Следовательно, с поверхности пруткового элеватора сходит сепарируемый ворох, состоящий

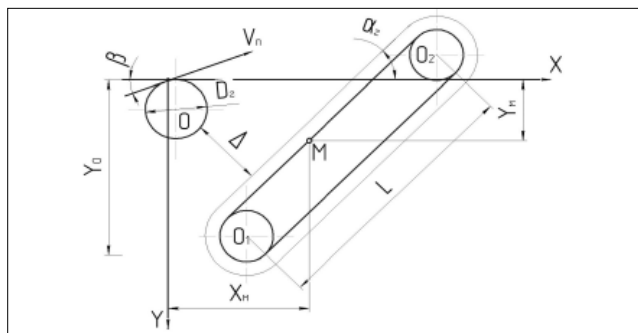


Рис. 4. Схема взаимодействия частицы с полотном пальчатой горки: D_r – диаметр окружности, описываемой наружной частью штифтов полотна, м; α_r – угол наклона полотна горки, град.; β – угол наклона питающего транспортера, град.; L – рабочая длина пальчатой горки, м; X_{M1} – абсцисса пересечения траектории движения частицы с осью X , м; Y_{M1} – ордината пересечения траектории движения частицы с осью Y , м; Y_0 – ордината точки пересечения проекции продолжения рабочей ветви полотна горки с осью Y

Fig. 4. Diagram of particle interaction with finger conveyor surface: D_r – diameter of the circle traced by the outer part of the web pins, meters, m; α_r – angle of inclination of the finger conveyor web, degrees; L – working length of the finger conveyor, meters; X_{M1} – abscissa of particle trajectory intersection with X axis, meters; Y_{M1} – ordinate of particle trajectory intersection with Y axis, meters; Y_0 – ordinate of the intersection point of the extension projection of the finger conveyor's working segment with the Y -axis, meters

преимущественно из луковиц и соизмеримых с ними почвенных комков, и поступает для очистки на пальчатую горку (рис. 4).

Одно из лимитирующих требований достижения качественных показателей работы очистки – это оптимальная скорость питающего транспортера (обводной ролик транспортера O), которая должна обеспечить подачу луковиц на прямолинейный участок O_1O_2 поверхности штифтового полотна без потерь товарной продукции согласно условию:

$$\begin{cases} \frac{D+D_r}{2} \cdot \cos(-\alpha_r) \leq X_{M1} \leq \left(L + \frac{D+D_r}{2}\right) \cdot \cos(-\alpha_r), \\ \frac{D+D_r}{2} \cdot \sin(-\alpha_r) \leq Y_{M1} \leq Y_0 + \left(L + \frac{D+D_r}{2}\right) \cdot \sin(-\alpha_r), \end{cases} \quad (21)$$

где D – диаметр окружности, описываемой точками полотна питающего транспортера в зоне схода частицы, м;

D_r – диаметр окружности, описываемой наружной частью штифтов полотна, м;

α_r – угол наклона полотна пальчатой горки, град.;

L – рабочая длина пальчатой горки, м;

X_{M1} – абсцисса пересечения траектории движения частицы с осью X , м;

Y_{M1} – ордината пересечения траектории движения частицы с осью Y , м;

Y_0 – ордината точки пересечения проекции продолжения рабочей ветви полотна горки с осью Y , м.

При несоблюдении левой части неравенств (21) луковицы будут выноситься в потери; при несоблюдении правой скорость падения луковиц на последующие рабочие органы может превышать критическую [15]:

$$Y_0 = \frac{D}{2 \cdot [1 + \cos(\alpha_r - \beta)] + \Delta} \cdot \cos \alpha_r, \quad (22)$$

где β – угол наклона питающего транспортера, град.; Δ – зазор между питающим транспортером и пальчатой горкой, м.

Согласно выражению (22), к настройке режимных параметров пальчатой горки предъявляются более жесткие требования, чем к устройствам первичной сепарации. Эти задачи, в том числе, решаются путем установки различных типов интенсификаторов сепарации [13-15].

Одним из вариантов интенсификации процесса очистки луковиц от почвы и соизмеримых с ними почвенных комков может быть увлажнение вороха с ультразвуковым воздействием при его сепарации, что ранее было обосновано на примере корнеплодов моркови и клубней картофеля [12].

Для создания экспериментальной установки по интенсификации очистки лука-севка разработана функциональная схема устройства ультразвукового воздействия (рис. 5). Основой конструктивной схемы экспериментальной установки послужило известное устройство для отделения клубней картофеля в почвенной суспензии. Дополнительно предлагается приспособление для разделения посредством ультразвукового воздействия. Оно состоит из ультразвуковой ванны, по внутреннему периметру которой расположены пьезоэлектрические источники, а в верхней части на небольшой глубине расположен прутковый транспортер выноса луковиц (рис. 6).

Ворох лука в ультразвуковую ванну подается транспортером с поступательной скоростью движения v_{m1} . Для выноса почвенных примесей в нижней части ванны расположен скребковый транспортер, который движется со скоростью v_{m2} .

Согласно результатам экспериментальных исследований и методике по очистке клубней картофеля и корнеплодов моркови, необходимы дополнительные исследования [12]. То же самое касается в отношении лука: требуется разработать лабораторную установку с модулем ультразвукового воздействия и выполнить экспериментальные исследования по определению режимных и технологических параметров, оказывающих наибольшее влияние на сепарацию. При этом следует учесть массу вороха луковиц, поступающего на сепарирующие рабочие органы, угол наклона питающего транспортера, а также максимальную скорость движения вороха луковиц и почвенных примесей по сепарирующей поверхности пруткового элеватора.

Выводы. Определены теоретические закономер-

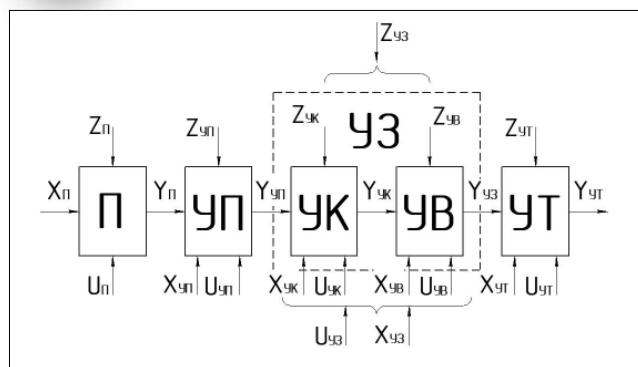


Рис. 5. Функциональная схема машины для уборки лука выкапывающего типа для однофазной уборки или ее первой фазы: П – подкапывающий рабочий орган; УП – рабочий орган первичной сепарации; УК – рабочий орган первичной сепарации с интенсификатором сепарации; УВ – рабочий орган вторичной сепарации; УТ – валкоукладывающее устройство или выгрузной транспортер; УЗ – устройство ультразвукового воздействия; $X_{\text{П}}, X_{\text{УП}}, X_{\text{УК}}, X_{\text{УВ}}, X_{\text{УЗ}}$ и $X_{\text{УТ}}$ – функции внешнего воздействия; $Z_{\text{П}}, Z_{\text{УП}}, Z_{\text{УК}}, Z_{\text{УВ}}, Z_{\text{УЗ}}$ и $Z_{\text{УТ}}$ – функции состояния; $U_{\text{П}}, U_{\text{УП}}, U_{\text{УК}}, U_{\text{УВ}}, U_{\text{УЗ}}$ и $U_{\text{УТ}}$ – функции управляющего воздействия; $Y_{\text{П}}, Y_{\text{УП}}, Y_{\text{УК}}, Y_{\text{УВ}}, Y_{\text{УЗ}}$ и $Y_{\text{УТ}}$ – результирующие параметры соответствующих рабочих органов

Fig. 5. Functional diagram of a digging-type onion harvester for single-phase harvesting or its initial phase: П – digging working body; УП – primary separation working body; УК – primary separation working body with a separation intensifier; УВ – secondary separation working body; УТ – windrower or unloading conveyor; УЗ – ultrasonic treatment device. $X_{\text{УП}}, X_{\text{УК}}, X_{\text{УВ}}, X_{\text{УТ}}, X_{\text{УЗ}}$ – external impact functions; $Z_{\text{П}}, Z_{\text{УП}}, Z_{\text{УК}}, Z_{\text{УВ}}, Z_{\text{УЗ}}$ and $Z_{\text{УТ}}$ – state functions; $U_{\text{П}}, U_{\text{УП}}, U_{\text{УК}}, U_{\text{УВ}}, U_{\text{УЗ}}$ and $U_{\text{УТ}}$ – control impact functions; $Y_{\text{П}}, Y_{\text{УП}}, Y_{\text{УК}}, Y_{\text{УВ}}, Y_{\text{УЗ}}$ and $Y_{\text{УТ}}$ – resulting parameters of relevant working bodies

ности интенсификации очистки лука-севка от механических примесей сепарирующей системой машины для уборки лука, а также условия снижения потерь от повреждений.

Установлены масса и фракционный состав почвенных примесей, поступающих на устройства первичной и вторичной очистки уборочной машины. Определены условия, способствующие снижению механических примесей при уборке лука.

Предложен алгоритм расчета максимальной скорости движения частицы почвы по сепарирующей по-

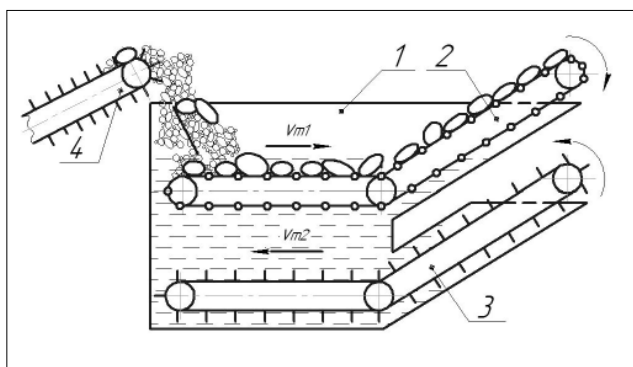


Рис. 6. Конструктивная схема устройства для ультразвукового воздействия при уборке лука-севка: 1 – ультразвуковая ванна; 2 – прутковый транспортер выноса луковиц; 3 – скребковый транспортер выноса примесей; 4 – транспортер подачи вороха лука и почвенных примесей

Fig. 6. Structural schematization of the ultrasonic treatment device for onion set harvesting: 1 – ultrasonic bath; 2 – bar conveyor for bulb removal; 3 – scraper conveyor for impurity removal; 4 – conveyor for supplying onion heaps and soil impurities

верхности, а также массы почвенных примесей с минимальными размерами в целях эффективного прохождения через щелевые отверстия пруткового элеватора.

Разработана сепарирующая система уборочной машины с ультразвуковым воздействием.

Установлены закономерности определения массы и фракционного состава почвенных примесей, поступающих на устройства первичной и вторичной очистки уборочной машины. Определены условия, способствующие снижению механических примесей при уборке лука при варьировании конструктивных (длина пальчатой горки) и технологических (угол наклона пальчатой горки) параметров сепарирующих устройств.

Выявлено, что максимальная скорость движения частицы почвы по сепарирующей поверхности зависит от толщины полотна пруткового элеватора, диаметра прутков и расстояния между ними.

Полученные теоретические закономерности очистки лука-севка необходимы для создания экспериментальной установки по интенсификации процессов сепарации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Емельянов П.А., Аксенов А.Г. и др. Машинная технология производства лука. М.: ВИМ. 2016. 168 с.
2. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Кудрявцев П.П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. N2. С. 35-36.
3. Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П. и др. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N3. С. 43-47.
4. Протасов, А.А. Функциональный подход к созданию лукоуборочной машины // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П.Горячкина». 2011. N2(47). С. 37-43.
5. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. и др. Инновационные технологии и комплекс машин для уборки лу-



- ка-севка. М.: Цифровичок, 2021. 442 с.
6. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. №1. С. 12-16.
 7. Гэфке И.В., Жаркова С.В. Особенности агрофизических свойств почвы при возделывании лука репчатого // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. №8(166). С. 78-82.
 8. Lu J.Q., Sun H., Dui H., et al. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017. N48(11). 146-155.
 9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. Vol. 47. N5. 106-114.
 10. Ларюшин Н.П., Кухарев О.Н., Кирюхина Т.А. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука // *Наука в центральной России*. 2015. №6(18). С. 48-58.
 11. Калинин А.Б., Смелик В.А., Теплинский И.З. и др. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. №39. С. 315-319.
 12. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Результаты сравнительных лабораторных исследований очистки корнеплодов моркови и клубней картофеля ультразвуковым воздействием // *Вестник Ульяновской ГСХА*. 2020. №2. С. 6-15.
 13. Dandekar I., Joshi A., Patil V. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2020. №9. 333-337.
 14. Бышов Н. В., Якутин Н. Н., Ковешников Р. Ю. и др. Модернизация копателя КСТ-1,4 // *Вестник Рязанского ГАУ им. П.А.Костычева*. 2016. №2(30). С. 75-78.
 15. Коршунов А.В., Симаков Е.А., Лысенко Ю.Н. и др. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. №3. С. 12-20.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G., et al. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka [Machine technology for onion production]. Moscow: VIM. 2016. 168 (In Russian).
2. Kalinin A.B., Teplinskiy I.Z., Kudryavtsev P.P. Pochvennoe sostoyanie v intensivnoy tekhnologii [Soil condition in the intensive technology]. *Kartofel' i ovoshchi*. 2016. №2. 35-36 (In Russian).
3. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., et al. Sovremennye tekhnologii i spetsial'naya tekhnika dlya kartofelevodstva [Modern technologies and special equipment for potato production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. №3. 43-47 (In Russian).
4. Protasov A.A. Funktsional'nyy podkhod k sozdaniyu luko-uborochnoy mashiny [Functional approach to onion harvester designing]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina*. 2011. №2(47). 37-43 (In Russian).
5. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., et al. Innovatsionnye tekhnologii i kompleks mashin dlya uborki luka-sevka [Innovative technologies and machinery ensemble for onion set harvesting]. Moscow: Tsifrovichok, 2021. 442 (In Russian).
6. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Metod kompleksnoy otsenki kachestva vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy energoresursosberegayushchey tekhnologii uborki korneplodov i kartofelya [Comprehensive assessment of the technological performance quality of energy-and-resource-saving technology of root and potato harvesting]. *Agroinzheneriya*. 2022. Vol. 24. №1. 12-16 (In Russian).
7. Gefke I.V., Zharkova S.V. Osobennosti agrofizicheskikh svoystv pochvy pri vozdelevanii luka repchatogo [The features of soil agrophysical properties under bulb onion]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. №8(166). 78-82 (In Russian).
8. Lu J.Q., Sun H., Dui H., et al. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017. N48(11). 146-155 (In English).
9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. Vol. 47. N5. 106-114 (In English).
10. Laryushin N.P., Kukharev O.N., Kiryukhina T.A. Iskhodnye polozheniya pri proektirovanii mashin dlya uborki luka [Original position when designing onion harvesting machines]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2015. №6(18). 48-58 (In Russian).
11. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., et al. Vybory i obosnovaniye parametrov ekologicheskogo sostoyaniya agroekosistemy dlya monitoringa tekhnologicheskikh protsessov vozdelevaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Choice and justification parameters of ecological state in the agroecosystem for monitoring technology process growing agricultural crops]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. №39. 315-319 (In Russian).
12. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Rezul'taty sravnitel'nykh laboratornykh issledovaniy ochistki korneplodov morkovi i klubney kartofelya ul'trazvukovym vozdeystviem [The results of comparative laboratory investigations on the ultrasonic cleaning of carrot roots and potato tubers]. *Vestnik Ul'yanovskoy GSKHA*. 2020. №2. 6-15 (In Russian).
13. Dandekar I., Joshi A., Patil V. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2020. №9. 333-337.

- nal of Information and Computational Science*. 2020. N9. 333-337 (In English).
14. Byshov N.V., Yakutin N.N., Koveshnikov R.Yu., et al. Modernizatsiya kopatelya KST-1,4 [Modernization of digging machine KST-1.4]. *Vestnik Ryazanskogo GAU im. P.A.Kostycheva*. 2016. N2(30). 75-78 (In Russian).
15. Korshunov A.V., Simakov E.A., Lysenko YU.N., et al. Aktual'nye problemy i prioritetye napravleniya razvitiya kartofelevodstva [Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018. Vol. 32. N3. 12-20 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Дорохов А.С. – научное руководство, формулирование основных целей и задач теоретических исследований, доработка текста;

Сибирев А.В. – подготовка начального варианта текста, сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, проведение теоретических исследований, доработка текста;

Аксенов А.Г. – определение методологии исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения;

Пономарев А.Г. – подготовка начального варианта текста, сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования;

Сазонов Н.В. – редактирование и доработка текста статьи, подготовка материала к публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Dorokhov A.S. – scientific guidance, formulation of the main goals and objectives of theoretical research, manuscript refinement;

Sibirev A.V. – preparing the draft manuscript, collecting and analyzing analytical and practical materials on the research topic, conducting theoretical research, manuscript refinement;

Aksenov A.G. – determining the research methodology, formation of general conclusions, critical analysis and finalization of the solution;

Ponomarev A.G. – preparing the draft manuscript, collecting and analyzing analytical and practical materials on the research topic, conducting theoretical research, manuscript refinement;

Sazonov N.V. – editing and finalizing the manuscript, preparing the material for publication.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

07.07.2023
30.08.2023



ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 4.1.5 / 4.3.1 / 4.3.2 / 5.6.6.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS, RSCI*. Электронные версии журнала размещаются на сайтах Российской универсальной научной электронной библиотеки, Российской государственной библиотеки и Российской книжной палаты.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, объемом 15-20 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны на русском и английском языках и иметь ссылку в тексте.

Простые 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